



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. VICTORIA**

SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

# TecnoINTELECTO

Órgano de Divulgación Científica

**Una Publicación del Tecnológico Nacional de México -  
 Instituto Tecnológico de Cd. Victoria**

Volumen 21

No. 2

Diciembre 2024

ISSN 1665-983X

## CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

**Evaluación del crecimiento de la microalga *Nannochloropsis oculata* (Drop, 1959) a diferentes periodos y concentración de salinidad en condiciones de laboratorio.** José A. Solís-Echeverría, Rodrigo R. García-Torcuato, Angél Ancona-Ordaz, Juan Q. Román-Tiburcio & Itzel A. Chim-Chí..... 1

## INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**Desarrollo de una herramienta para la detección de maleza en campos de girasoles.** Jesús C. Carmona-Frausto, Salvador Cervantes-Álvarez, Kevin E. Bee-Cruz, Adriana Mexicano-Santoyo & Néstor M. Montoya-Pineda..... 10

**Implementación de la metodología Seis Sigma en el Instituto Nacional de Migración.** Diana V. Zúñiga-Zapata, Flora A. González-Jiménez, Raúl A. Derat-Solís & Mayra E. González-Guillén..... 19

**Arquitectura de software basada en microservicios para el desarrollo de una aplicación web de ruteo de vehículos** Jesús C. Carmona-Frausto, Luis F. Zurita-González, Adriana Mexicano-Santoyo, Lilia del C. García-Mundo & Nelva N. Almanza-Ortega..... 31

## INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

**Estrategia didáctica en la enseñanza del álgebra lineal con apoyo de la herramienta computacional Pseint.** María P. Ramírez-Gil, María R. Ortiz-Medina, Dora E. Doria-Gallegos, José A. Nieto-Meza & Lilia C. García-Mundo ..... 45

**Impacto de un sistema interactivo en la enseñanza de las matemáticas: estudiantes de educación superior.** Minerva Agüero-Lara, Alma D. Romero-Ocaño & Reyes G. Encinas-Montoya..... 53

**Análisis de la percepción de los tutores sobre el Programa Institucional de Tutorías.** José F. Coronado-Vázquez & Martha A. Avalos-Puga..... 75

---

## DIRECTORIO

**Dr. Ramón Jiménez López**  
Director General del Tecnológico Nacional de México

**Mtra. Deysi Yesica Alvarez Vergara**  
Directora

**M.I.I. Ana María Magdalena Ortiz Elizalde**  
Subdirectora Académica

**Arq. Evaristo Ángel Romero Nava**  
Subdirector de Planeación y Vinculación

**Mtro. José Ángel Nieto Meza**  
Subdirectora de Servicios Administrativos

## COMITÉ EDITORIAL

**Instituto Tecnológico de Cd. Victoria**  
**División de Estudios de Posgrado e Investigación**

## COORDINACIÓN EDITORIAL

**Ludivina Barrientos-Lozano, Ph. D.**  
**Aurora Y. Rocha-Sanchez, Dra.**

## Asistencia Editorial:

**Pedro Almaguer Sierra, Dr.**

## COMITÉ REVISOR

---

**Dr. Gonzalo Gutiérrez-Ignacio.** Universidad Autónoma de Tamaulipas. SNII Nivel C. Perfil Deseable PRODEP.

**Dr. Diego Adiel Sandoval-Chávez.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez. SNII Nivel I.

**Dr. Luis Alfredo Ortega-Clemente.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río.

**Dra. Ma del Carmen Cornejo-Serrano.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya. SNII Nivel C. Perfil Deseable PRODEP.

**Dra. María Teresa Villalón-Guzmán.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya. Perfil Deseable PRODEP.

**Dr. Héctor Hugo Avilés Arriaga.** Universidad Politécnica de Victoria.

**Dra. Eloisa Bernardett Villalobos Oliver.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya. SNII Nivel C. Perfil Deseable PRODEP.

**Mtra. María del Rocío Ortiz Medina.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria.

**Dra. Lilia del Carmen García Mundo.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria.

**Dra. Ludivina Barrientos-Lozano.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. SNII Nivel II.

**Dr. Pedro Almaguer-Sierra.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. SNII Nivel C.

---

**TecnoINTELECTO** (ISSN 1665-983X y reserva: 04-2004-072626452400-102) es un órgano de divulgación científica de forma semestral del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301, C. P. 87010, Cd. Victoria, Tamaulipas, México; Tels. (834) 153 20 00 Ext. 364. El contenido y la sintaxis de los artículos presentados son responsabilidad del autor (es). Editor Principal: División de Estudios de Posgrado e Investigación. Apoyo editorial-informático: Dra. Aurora Y. Rocha Sánchez. Envío de documentos, consultas y sugerencias al correo electrónico: [ludivinab@yahoo.com](mailto:ludivinab@yahoo.com), [ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx). Todos los derechos son reservados y propiedad del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. TecnoINTELECTO, Vol. 21 No. 2. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.



Consúltanos en el Índice Latinoamericano [www.latindex.org](http://www.latindex.org) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias PERIÓDICA [www.dgb.unam.mx/periodica.html](http://www.dgb.unam.mx/periodica.html)



## EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA MICROALGA *Nannochloropsis oculata* (Drop, 1959) A DIFERENTES FOTOPERIODOS Y CONCENTRACIÓN DE SALINIDAD EN CONDICIONES DE LABORATORIO

José A. Solís-Echeverría\*, Rodrigo R. García-Torcuato, Ángel Ancona-Ordaz, Juan Q. Román-Tiburcio & Itzel A. Chim-Chí

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Lerma. Ingeniería en Acuicultura. Km. 10 carretera Campeche-Champotón, C.P. 24500, Lerma, Campeche, México.

[\\*jose.se@lerma.tecnm.mx](mailto:jose.se@lerma.tecnm.mx)

**RESUMEN:** El presente estudio se centró en evaluar el crecimiento de la microalga *Nannochloropsis oculata* bajo diferentes fotoperiodos y salinidades en condiciones de laboratorio, para lo cual se utilizó el medio nutritivo F2 de Guillard (Proline) a dosis de 1 mL/L. Los cultivos se sometieron a dos niveles de fotoperiodo 18:6 y 24:0 h luz:oscuridad (L:O) y a tres concentraciones de salinidad de 25, 30 y 35 ups. El experimento se llevó a cabo durante ocho días bajo las siguientes condiciones: temperatura de 20-22° C, pH 7-8 e intensidad lumínica de 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Los tratamientos se probaron mediante un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) ( $p \leq 0.05$ ) por triplicado. En cada tratamiento se tomaron muestras cada 24 horas para determinar la densidad del cultivo mediante recuentos directos en la cámara de Neubauer. La densidad celular (célula/mL) se utilizó para determinar parámetros poblacionales como la tasa de crecimiento específico (TCE div/día) y el tiempo de duplicación de la biomasa (días Td). Los resultados obtenidos indican que el fotoperiodo mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el crecimiento celular de *N. oculata*, siendo el fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O) el que registró la mayor densidad celular con  $10.394 \times 10^6$  cel/mL. Los niveles de salinidad no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la densidad celular, por lo que la interacción fotoperiodo-salinidad no fue significativa en todos los tratamientos. La mayor TCE (0.6189 div/día) se alcanzó con salinidad de 25 ups y fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O), así mismo el menor Td (0.508 días) se registró con salinidad de 25 ups y fotoperiodo de 24:00 hrs. (L:O). Mientras que el valor más bajo de TCE (0.4770 div/día) se observó con la salinidad de 35 ups y fotoperiodo 24:00 hrs (L:O), mientras que el mayor Td (1.8225 días) se registró con la combinación de salinidad de 30 ups y fotoperiodo 18:6 hrs. (L:O). Los resultados muestran que *N. oculata* puede ser cultivada con una salinidad de 30 ups y un fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O) y así obtener los mayores rendimientos de producción en el cultivo de esta microalga.

**PALABRAS CLAVE:** producción algal, densidad celular, parámetros poblacionales, tasa de crecimiento.

**ABSTRAC:** The present study focused on evaluating the growth of the microalgae *Nannochloropsis oculata* under different photoperiods and salinities under laboratory conditions, for which Guillard's F2 nutrient medium (Proline) was used at doses of 1 ml/L. The cultures were subjected to two photoperiod levels 18:6 and 24:0 h light: dark (L:D) and to three salinity concentrations of 25, 30 and 35 ups. The experiment was carried out for eight days under the following conditions: temperature of 20-22° C, pH 7-8 and light intensity of 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The treatments were tested using a two-way analysis of variance (ANOVA) ( $p \leq 0.05$ ) in triplicate. In each treatment, samples were taken every 24 hours to determine the density of the culture by direct counts in the Neubauer chamber. Cell density (cel/mL) was used to determine population parameters such as specific growth rate (TCE div/day) and biomass doubling time (Td days). The results obtained indicate that the photoperiod showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in the cell growth of *N. oculata*, with the photoperiod of 18:6 hrs. (L: D) being the one that registered the highest cell density with  $10.394 \times 10^6$  cel/mL. Salinity levels did not show significant differences ( $p > 0.05$ ) on cell density, so the photoperiod-salinity interaction was not significant in all treatments. The highest TCE (0.6189 div/day) was reached with salinity of 25 ups and photoperiod of 18:6 hrs. (L:D), likewise the lowest Td (0.508 days) were recorded at salinity of 25 ups and photoperiod of 24:00 hrs. (L:D). While the lowest TCE value (0.4770 div/day) was observed with the salinity of 35 ups and photoperiod 24:00 hrs. (L:O), while the highest Td (1.8225 days) was recorded with the

combination of salinity of 30 ups and photoperiod 18:6 hrs. (L:D). The results show that *N. oculata* can be cultured with a salinity of 30 ups and a photoperiod of 18:6 hrs. (L:D) and thus obtain the highest production yields in the culture of this microalgae.

**KEYWORDS:** algal production, cell density, population parameters, growth rate.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las microalgas se utilizan en la acuicultura como alimento vivo para todas las etapas de crecimiento de moluscos, larvas de crustáceos, algunas especies de peces y en la producción de zooplankton (Prieto *et al.*, 2005). Los géneros de microalgas más utilizados en la alimentación de organismos acuáticos debido a su potencial nutricional son: *Isochrysis*, *Pavlova*, *Nannochloropsis*, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Dunaliella*, *Rhodomonas*, *Pavlova*, *Chaetoceros*, *Nitzschia*, *Phaeodactylum* y *Thalassiosira* (Cañavate, 2014). La microalga *Nannochloropsis oculata* pertenece a la clase Eustigmatophyceae, se caracteriza por ser unicelular, con formas subesféricas o cilíndricas y mide entre 2 y 4 µm, contiene clorofila "a" y otros pigmentos como astaxantina, zeaxantina y cantaxantina y los cloroplastos son de color amarillo a verde (Ma *et al.*, 2014). Debido a su alto valor nutricional y composición bioquímica, *Nannochloropsis* sp. es muy buscado en la industria acuícola como alimento para rotíferos y criaderos de peces (Vadiveloo *et al.*, 2015).

La productividad de las microalgas depende principalmente del contenido de nutrientes, el pH, la salinidad, la temperatura y la luz. Algunos investigadores han documentado que los factores ambientales influyen en el perfil bioquímico de *Nannochloropsis* sp (Wen y Chen, 2003). La fotosíntesis, la calidad nutricional y el crecimiento de *N. oculata* pueden verse influenciados por la variación de los parámetros fisicoquímicos, tales como: intensidad de luz, salinidad, fotoperiodo, pH, temperatura y composición de nutrientes (Wahidin *et al.*, 2013 y Pereira *et al.*, 2017; Osorio *et al.*, 2020). Entre los factores ambientales que afectan las tasas de crecimiento de las microalgas unicelulares, la luz es la fuente básica de energía y un factor importante en la fotosíntesis y es esencial para el crecimiento fotoautotrófico de las microalgas (Wahidin *et al.*, 2013). Las microalgas requieren energía en forma de luz a través de un proceso fotosintético, así como nutrientes en cantidades tales que les permitan producir carbohidratos, lípidos, así como proteínas (Chasquibol, 2021). Por lo tanto, los factores de

iluminación, el fotoperiodo y la intensidad, pueden afectar el crecimiento de las microalgas y el contenido de lípidos (Wahidin *et al.*, 2013). El fotoperiodo juega un papel importante, especialmente en intensidades de luz de saturación cuando los periodos oscuros pueden mejorar el crecimiento de la biomasa al limitar la fotoinhibición (Andriopoulos, *et al.*, 2022). En este sentido, Parmar *et al.* (2011) mencionan que la intensidad de la luz y los ciclos del fotoperiodo (luz y oscuridad) son los principales factores que determinan la tasa de crecimiento del cultivo de microalgas. Con el fin de optimizar el crecimiento de microalgas en el sistema de cultivo masivo y el contenido de lípidos, Wahidin *et al.* (2013) estudiaron los efectos de la intensidad de la luz y el ciclo del fotoperiodo sobre el crecimiento de *Nannochloropsis* sp. en cultivo por lotes durante 9 días a tres intensidades de luz diferentes (50, 100 y 200 µmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) y tres ciclos de fotoperiodo diferentes (24:0, 18:6 y 12:12 h luz: oscuridad) a una temperatura de cultivo de 23°C. Con una intensidad lumínica de 100 µmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> y un fotoperiodo de 18 h de luz: 6 h de oscuridad, se encontró que *Nannochloropsis* sp. crece favorablemente con una concentración celular máxima de 6.5X10<sup>7</sup> cel/mL. Resultados similares fueron reportados por Minhas *et al.* (2023) con *N. oculata* a un fotoperiodo de 18:06 (horas luz: oscuridad) concluyendo que la intensidad de la luz y el ciclo luz/oscuridad influyen en la productividad lipídica de esta especie.

Entre los factores más importantes en el cultivo de microalgas se encuentra la salinidad, siendo un factor abiótico que incide en el crecimiento y densidad celular de las microalgas tanto en el cultivo como en el medio marino (López *et al.*, 2009). Su variación hace que la célula libere iones, sintetice compuestos orgánicos, disminuya la fijación de CO<sub>2</sub> y afecte el metabolismo del nitrógeno y los silicatos (Carrera, 2018). El rango de salinidad en los medios de cultivo para el crecimiento de *N. oculata* es de entre 25 y 45 ppt (Widihastuti *et al.*, 2022). Esto fue demostrado por Kouhgard *et al.* (2016) quienes estudiaron el crecimiento de *N. oculata* a diferentes salinidades de cultivo

(15, 20, 25, 30 y 35 ppt) con el medio convencional Conway, sus resultados indican que el mayor crecimiento se obtuvo a salinidad de 25 ppt con una densidad de  $4.4 \times 10^6$  cel/mL en 14 días de cultivo. Así mismo, Khatoon *et al.* (2014) reportan resultados similares con densidad de  $4.87 \times 10^6$  cel/mL para esta especie de microalga cultivada a salinidad de 30 ppt. En este sentido, Osorio *et al.* (2020) investigaron el ritmo reproductivo de *N. oculata* a diferentes concentraciones salinas (33‰, 25‰, 20‰, 15‰, 10‰ y 5‰) y a dos concentraciones de F2 de Guillard (0.32% y 1‰). Esto ha demostrado que *N. oculata* puede reproducirse y alcanzar una densidad poblacional de más de  $50 \times 10^6$  cel/mL con una sola dosis inicial de fertilizante y a concentraciones salinas de 25‰ y 33‰, lo que denota la capacidad de *N. oculata* para reproducirse en medios con bajo contenido de nutrientes y a bajos costos. Por su parte, Paes *et al.* (2016) reportan resultados similares con esta misma especie de microalgas, alcanzando concentraciones de  $6.52 \times 10^7$  cel/mL en un periodo de 7 días a salinidad de 33‰ y fotoperiodo 12:12 (luz: oscuridad) con medio Conway. En la misma línea, Markose *et al.* (2020) estudiaron el efecto de la salinidad en el crecimiento y producción de lípidos de *N. gaditana*, concluyendo que en condiciones de temperatura a  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  con iluminación continua de 1,000 lux, fotoperiodo de 16:8 y a salinidad de 25 ppt alcanzaron la tasa de crecimiento más alta con  $245 \times 10^5$  células/mL. Esto coincide con los informes de Binh *et al.* (2021) quienes registraron una densidad máxima de  $294.29 \times 10^4$  cel/mL en nueve días de cultivo con *N. oculata*.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del fotoperiodo y la salinidad sobre el crecimiento de *N. oculata* en condiciones controladas en el laboratorio de producción de microalgas del Tecnológico de Lerma.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Obtención de cepas

Las cepas de las microalgas de *N. oculata* se obtuvieron en tubos de ensayo de 15 ml del cepario de la UMDI-Sisal perteneciente a la Facultad de Ciencias de la UNAM. Estos fueron aclimatados al laboratorio de producción de microalgas de la Facultad de Ciencias del Mar del Tecnológico de Lerma. Los parámetros ambientales se mantuvieron a una temperatura

de 20-22°C, salinidad de 30 ups, pH 7-8 e intensidad lumínica de  $100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 2.2. Manejo de las cepas

Dos días después de la recepción, las cepas se transfirieron en condiciones asépticas según lo recomendado por Alejos *et al.* (2021), a matraces Erlenmeyer de 250 mL con medio de cultivo Guillard F2 y agua de mar tratada por un sistema de filtración compuesto por un filtro de cartucho de 18 micras, filtro de perlas de cinco micras, luz ultravioleta, y esterilizado en autoclave a 121°C y a una presión de 1.5 lbs/pulg<sup>2</sup> durante 15 minutos. Estos medios esterilizados se mantuvieron durante 24 horas en la sala de microalgas para su aclimatación. Una vez alcanzada la densidad adecuada, aproximadamente a los cinco días, estos primeros inóculos se transfirieron a matraces Erlenmeyer de 500 ml que contenían 300 ml de medio de cultivo. Estos fueron etiquetados con la especie y la fecha de la transferencia.

### 2.3. Cultivos iniciales

Una vez que las cepas inoculadas en matraces Erlenmeyer de 500 ml alcanzaron la densidad adecuada después de cinco días de cultivo, se seleccionó una muestra y en condiciones asépticas se transfirió a cuatro matraces de 500 ml que contenían 300 ml de medio nutriente, estos fueron marcados con la especie y fecha de la transferencia. Lo anterior, con el fin de obtener las deformaciones de trabajo. En esta etapa, los cultivos se mantuvieron bajo los mismos parámetros ambientales que las cepas iniciales. Con el fin de mantener el medio en suspensión, los cultivos se agitaron manualmente (Figura 1).



**Figura 1.** Cultivos iniciales de cepas de *N. oculata* en condiciones de laboratorio.

## 2.4. Cultivos intermedios

De los cultivos iniciales, se tomaron tres matraces para ser transferidos a un volumen de 1 L con agua de mar filtrada y medio nutriente F2 de Guillard en dosis de 1 ml/L, adicionando aproximadamente 100 ml de inóculo a cada matraz, los cuales se colocaron bajo iluminación proporcional además de aireación constante, finalmente se marcaron y se cubrieron con un hisopo de algodón para evitar la contaminación (Figura 2). Después de cinco días de cultivo, se obtuvo el volumen y la densidad adecuados para desarrollar el experimento.



**Figura 2.** Cultivos intermedios de *N. oculata* bajo iluminación y aireación.

## 2.5. Cultivos experimentales

De los cultivos intermedios se tomó inóculo para establecer el experimento, utilizando aproximadamente 100 ml de este para inocular cada uno de los 18 frascos de 1 L con un volumen de agua de 800 ml y 1 ml/L de F2 de Guillard, los cuales fueron expuestos a las mismas condiciones ambientales descritas anteriormente (Figura 3).



**Figura 3.** Diseño experimental del cultivo de *N. oculata* en condiciones de laboratorio.

Para controlar el fotoperiodo (luz: oscuridad), se utilizaron bolsas plásticas oscuras (por

triplicado) para cubrir los cultivos, de igual manera las lámparas permanecieron apagadas durante el tiempo que duró cada tratamiento (Figura 4). La rutina para el paquete de fotoperiodo fue la siguiente: a las 07:00 hrs se taparon los frascos y se apagaron las lámparas y a las 13:00 hrs se destaparon y encendieron las lámparas completando el ciclo de 18 horas de luz y 6 horas de oscuridad, esto durante los 8 días que duró el experimento.



**Figura 4.** Etapa experimental de *N. oculata* a los 5 días de cultivo.

Se utilizó agua destilada para ajustar la salinidad al factor de 25 ups, para el ajuste a 35 ups se empleó sal marina y para el tercer factor se tomó directamente el agua de mar a una salinidad 30 ups. La salinidad en cada tratamiento se verificó con un refractómetro de seno vital (SR6) al inicio y al final del experimento.

## 2.6. Determinación de la densidad celular

Durante los siete días de cultivo, se monitoreo el crecimiento bajo el microscopio (marca VELAB) cada 24 horas para determinar la densidad celular (célula/mL) mediante conteo directo en la cámara de Neubauer (BOECO 0.01 mm de profundidad) siguiendo el procedimiento propuesto por Ynga y Niño (2019) para células menores de 6 micras ( $\mu$ ) con la siguiente ecuación:

$$N_a = \frac{(\sum \text{Cel. } C_a)}{5} * 250000$$

Dónde:

$N_a$  = Número de celdas

$\sum \text{Cel. } C_a$  = Suma de las celdas de la diagonal central de la cámara de Neubauer

Estos datos se utilizaron para determinar curvas de crecimiento y parámetros poblacionales como TBI y Td, según Guillard y

Sieracki (2005) y Panta *et al.* (2016) utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \frac{\ln N_{t1} - \ln N_{t0}}{\Delta t}$$

Dónde:

$\mu$  = tasa de crecimiento específica

$\Delta t$  = longitud del intervalo de tiempo ( $t_1-t_0$ )

$N_{t0}$  = tamaño de la población al principio del intervalo de tiempo

$N_{t1}$  = tamaño de la población al final del intervalo de tiempo

$$T_d = \frac{\log 2}{\mu}$$

Dónde:

$T_d$  = tiempo de duplicación de la biomasa

$\log 2$  = logaritmo neperiano de 2

$\mu$  = tasa de crecimiento específica

## 2.7. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) utilizando un diseño factorial ( $p>0.05$ ), siendo la salinidad el primer factor con tres niveles: 20, 30 y 35 ups y el fotoperiodo como segundo factor con dos niveles: 18:6 y 24:00 hrs (L:O), a partir de los cuales se ensayaron seis tratamientos por triplicado. Para la comparación de promedios se aplicó el método de Tukey ( $p>0.05$ ). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente, ambas con un nivel de significancia del 95%. En todos los tratamientos se determinó la densidad celular del cultivo (cel/mL) y los parámetros poblacionales (Guillard y Sieracki, 2005). Los datos se analizaron con el software Real Statistics®.

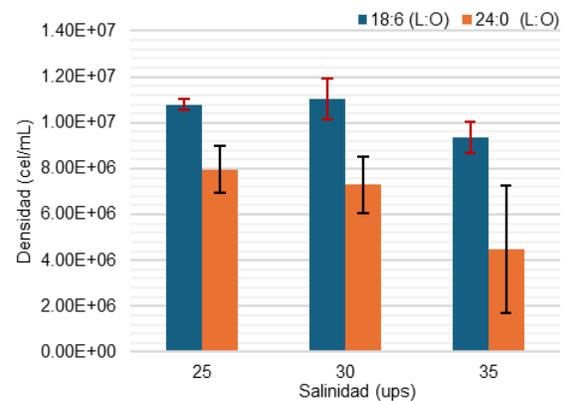
## 3. RESULTADOS

Comparando los diferentes tratamientos después de seis días de cultivo de *N. oculata*, los resultados revelan que la máxima densidad promedio se alcanzó con el fotoperiodo 18:6 hrs. (L:O) a 30 ups de salinidad con un valor de  $11.016 \times 10^6$  cel/mL, mientras que para el fotoperiodo 24:0 hrs. (L:O) la máxima densidad promedio se registró con 25 ups con un valor de  $7.966 \times 10^6$  cel/mL. Del mismo modo, las densidades medias mínimas fueron de  $9.383 \times 10^6$  y  $4.466 \times 10^6$  cel/mL para los fotoperiodos 18:6 hrs. (L:O) y 24:0 hrs. (L:O) respectivamente, ambos a una salinidad de 35 ups. Por lo que se puede apreciar, que las

densidades alcanzadas en el fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O), a cualquier salinidad, fueron superiores a los valores obtenidos a fotoperiodo de 24:0 hrs. (L:O) en sus respectivas salinidades (Tabla 1; Figura 5).

**Tabla 1.** Densidad ( $\times 10^6$  cel/mL) por día para los diferentes tratamientos en el cultivo de *N. oculata*.

Fotoperiodo (L:O horas)	Días de cultivo	25 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )	30 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )	35 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )
18:6	0	1.983±0.382	2.083±1.01	2.30±1.0
18:6	1	2.983±2.202	2.783±1.23	2.85±0.5
18:6	2	4.90±0.75	4.40±2.783	4.33±1.127
18:6	3	8.083±1.311	9.90±4.44	8.816±14.9
18:6	4	11.033±2.516	11.166±6.29	10.25±18.43
18:6	5	11.683±2.428	12.23±3.642	10.80±5.21
18:6	6	10.783±3.752	11.016±4.93	9.383±7.58
Fotoperiodo (L:O horas)	Días de cultivo	25 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )	30 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )	35 ups ( $\bar{x} \pm DS$ )
24:0	0	3.483±0.236	3.166±6.64	3.583±4.692
24:0	1	4.95±0.889	6.50±2.41	5.80±4.993
24:0	2	12.016±0.682	13.183±6.01	7.683±10.05
24:0	3	12.50±0.526	13.75±3.96	14.33±3.89
24:0	4	13.5±0.672	13.50±7.63	13.45±6.538
24:0	5	8.55±3.496	8.266±17.2	5.10±13.96
24:0	6	7.966±3.07	7.30±14.95	4.466±11.7

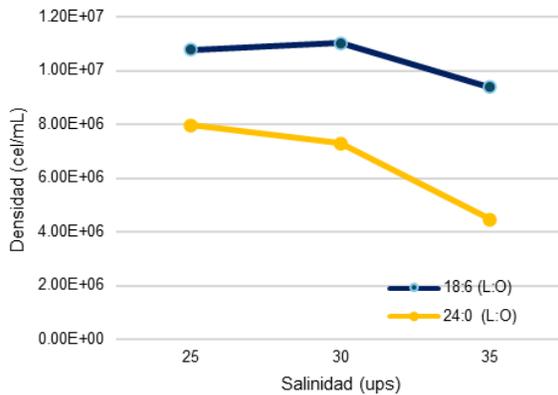


**Figura 5.** Error estándar de la densidad celular (cel/mL) de *N. oculata* para los tratamientos en estudio.

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que no existen diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en la densidad del *N. oculata*, tanto para la concentración de salinidad ( $0.1336 > 0.05$  NS)

como en la interacción fotoperiodo-salinidad ( $0.704 > 0.05$  NS) (Figura 6), sin embargo, para el fotoperiodo se observaron diferencias significativas ( $0.002 < 0.05^*$  DS) en los niveles de factor. La prueba de comparación de medias indicó que el fotoperiodo 18:6 hrs. (L:O) registró la mayor densidad de cultivo con un promedio de  $1.039 \times 10^6$  cel/mL ( $p < 0.05$ ).

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se cumplieron en el ANOVA en el cultivo de *N. oculata* (Tablas 2 y 3; Figura 7).



**Figura 6.** Interacción entre fotoperiodo y salinidad en la densidad celular (cel/mL) en cultivo de *N. oculata*.

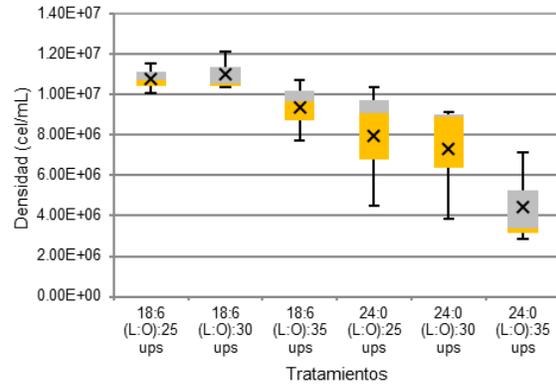
**Tabla 2.** Resultado normal (Shapiro-Wilk) para la densidad celular (cel/mL) del cultivo de *N. oculata*.

Tratamientos	18:6 (L:O) 25 UPS	18:6 (L:O) 30 UPS	18:6 (L:O) 35 UPS	24:0 (L:O) 25 UPS	24:0 (L:O) 30 UPS	24:0 (L:O) 35 UPS
Estadístico	0.9985	0.8321	0.9768	0.9067	0.7852	0.8441
Valor P	0.9265	0.1939	0.7082	0.4072	0.0798	0.2249
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normalidad	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

**Tabla 3.** Resultado de la prueba de homogeneidad de varianzas (Levene) para la densidad celular (cel/mL) en el cultivo de *N. oculata*.

Valor P	$\alpha$	Importancia
0.065	0.05	NS*

Con relación a los parámetros poblacionales, se alcanzó el mayor TCE promedio y acumulado (div/día) con el fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O) y la salinidad de 25 ups; mientras que los valores más bajos para estos indicadores se registraron con el fotoperiodo de 24:0 hrs. (L:O) y la salinidad 35 ups (Tabla 4).



**Figura 7.** Verificación de la homogeneidad de las varianzas para la densidad celular (cel/mL) de los tratamientos en cultivo de *N. oculata*.

**Tabla 4.** Tasa de crecimiento específica (div/día) del cultivo de *N. oculata*.

Fotoperiodo (horas L:O)	Salinidad (ups)	Promedio	Acumulado
24:0	25	0.4886	1.9544
24:0	30	0.5229	2.0919
24:0	35	0.4770	1.9082
18:6	25	0.6189	2.4759
18:6	30	0.6055	2.4222
18:6	35	0.5389	2.1559

Con relación a Td (días), el menor tiempo se registró con el fotoperiodo de 18:6 hrs. (L:O) y salinidad de 25 ups con el valor de 1.1621 días, el mayor valor se obtuvo con el fotoperiodo de 24:0 hrs. (L:O) y la salinidad de 25 ups con un valor de 5.0834 días (Tabla 5).

**Tabla 5.** Tiempo de duplicación de la biomasa (día) de cultivo de *N. oculata*.

Fotoperiodo (horas L:W)	Salinidad (ups)	Promedio	Acumulado
24:0	25	5.0834	0.3546
24:0	30	-3.3547	0.3313
24:0	35	-1.0190	0.3632
18:6	25	1.1621	0.2799
18:6	30	1.8225	0.2861
18:6	35	1.2859	0.3214

#### 4. DISCUSIÓN

Se ha reportado que los parámetros ambientales como la salinidad, la luz, el fotoperiodo y la temperatura afectan el

crecimiento de las microalgas (Wahidin *et al.*, 2013, Binh *et al.*, 2021, Andriopoulos *et al.*, 2022). En el presente estudio, se determinó el efecto del fotoperíodo y la salinidad en el crecimiento de *N. oculata*. En relación a la salinidad autores como Widiastuti *et al.* (2022) reportan que el rango de salinidad para el crecimiento de *N. oculata* está en un rango de 25 a 45 ppt, sin embargo en gran parte de la literatura revisada se reporta que a la salinidad de 25 ups se alcanza la mayor producción de esta microalga (Khatoon *et al.*, 2014; Kouhgardí *et al.*, 2016; Markose *et al.*, 2020), esto coincide con los resultados obtenidos para el fotoperíodo de 24:0 hrs (L:O), cabe destacar que la mayor densidad celular se obtuvo con la salinidad de 30 ups a un fotoperíodo de 18:6 hrs (L:O), sin embargo el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas en los niveles de salinidad presentados en este estudio, destacando que estos valores están dentro del rango de 25 a 33 ups que reportan Osorio *et al.* (2020) para la reproducción de esta especie de microalga. En contraste Aslam *et al.* (2024) reportan que con salinidad de 15 ups lograron obtener el mayor crecimiento con *Nannochloropsis* sp., con densidades  $4125 \times 10^3$  en seis días de cultivo, valores que están por debajo de los reportados en este trabajo.

En relación con el fotoperíodo, es decir, la proporción de tiempo que un cultivo está expuesto a la luz y la oscuridad, diversos autores sostienen este juega un papel importante, especialmente bajo las intensidades de luz de saturación cuando los períodos oscuros pueden mejorar el crecimiento de la biomasa al limitar la fotoinhibición (Wahidin *et al.*, 2013; Andriopoulos *et al.*, 2022). Algunos reportes sugieren que un fotoperíodo continuo (24:0 hrs L:O) es el óptimo para el crecimiento de *Nannochloropsis* sp., ya que la luz insuficiente causa fotolimitación del crecimiento de microalgas (Wahidin *et al.*, 2013). Sin embargo, en reportes recientes sobre el efecto del fotoperíodo en el crecimiento de *N. oculata*, los investigadores coinciden en que un fotoperíodo de 18:6 hrs (L:O) influye de manera importante en el crecimiento de esta microalga, en la mayoría de los casos este presentó la mayor densidad de cultivo que otros fotoperíodos como: 12:12 y 16:8 hrs L:O (Andriopoulos *et al.*, 2022; Minhas *et al.*, 2023). En este mismo sentido, los resultados que presentamos de

crecimiento de *N. oculata* con el fotoperíodo de 18:6 hrs (L:O) fueron similares a los presentados por Andriopoulos *et al.* (2022) y Minhas *et al.* (2023) para esta misma especie de microalga.

Los resultados presentados muestran que la tasa de crecimiento específica disminuyó con el aumento de la salinidad para ambos fotoperíodos (18:6 y 24:0 hrs L:O) (Tabla 4) siendo este comportamiento similar cuando la salinidad se mantuvo por encima 30 ups. Este fenómeno coincide con Adenan *et al.* (2013), quienes reportaron que aumentar la salinidad de 20 a 25 ups aumentó la tasa de crecimiento de *Chlorella* sp., sin embargo, al incrementar la salinidad a 30 ups provocó una disminución en la tasa de crecimiento específica. Contrariamente a nuestros resultados, en donde la mayor TCE se obtuvo a una salinidad de 25 ups, Alsull y Omar (2012) reportan que la salinidad óptima para el crecimiento *Nannochloropsis* sp., fue de 33 ups. Así mismo, en un estudio con *Nannochloropsis* sp., Fakhri *et al.* (2015) reportan que la mayor TCE (1.16 div/día) la obtuvieron con salinidad de 10 ups bajo iluminación continua.

## 5. CONCLUSIÓN

El cultivo de *N. oculata* con un fotoperíodo de 18:6 h (L: O) a 25 ups de salinidad presenta la mayor TCE y el menor Td. La mayor densidad celular se presenta con fotoperíodo de 18:6 h (L: O) a 30 ups a los seis días de cultivo. El factor fotoperíodo a nivel de 18:6 hrs. (L:O) registró la mayor densidad de cultivo. La interrelación fotoperíodo-salinidad no presenta significancia entre los factores estudiados.

Los resultados que se presentan en este trabajo pueden contribuir al uso eficiente de la energía eléctrica, ya que el fotoperíodo para el cultivo de *N. oculata* se puede reducir y con ello mejor los parámetros biológicos de la producción.

## 6. LITERATURA CITADA

- Adenan, N.S., F. Yusoff, and M. Shariff. 2013. Effect of salinity and temperature on the growth of diatoms and green algae. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 8(2): 397-404.
- Alejos, C.R., R.W. Gaspar, H.G. Ynga y V.A. Niño. 2021. *Manual de Desinfección y*

- Esterilización de Material de Laboratorio de Alimentos Vivos: *Microalgae Inf. Inst. Mar Perú*, 48(1): 50-66.
- Alsull, M. and W.M.W Omar. 2012. Responses of *Tetraselmis* sp. and *Nannochloropsis* sp. isolated from Penang National Park Coastal Waters, Malaysia, to the combined influences of salinity, light and nitrogen limitation. *Chemical, Ecology and Environmental Sciences, Planetary Scientific Research Center, Bangkok*.
- Andriopoulos, V., F.N. Lamari, S. Hatziantoniou and M. Kornaros. 2022. Producción de Antioxidantes y Biomasa de Alto Valor a partir de *Nannochloropsis oculata*: Efectos del pH, la temperatura y el período de luz en fotobiorreactores Batch. *Drogas Marinas*, 20:1-17.
- Aslam, A.H., S. Nasution and I. Nurrachmi. 2024. Effect of the combination of salinity and Walne fertilizer on the population growth of *Nannochloropsis* sp on laboratory scale. *Asian Journal of Aquatic Science*, 7(2): 284-291.
- Binh, N. M., N. T. T. Thuy y A. E. Serrano. 2021. Efectos de la densidad inicial, el medio de nutrientes, la salinidad y la intensidad de la luz en el crecimiento de la microalga *Nannochloropsis oculata*. *Bioflujo*, 14(4): 2114-2124.
- Cañavate, H.P. 2014. Funciones de las microalgas en la acuicultura. En: *Las algas como recurso. Valorización, aplicaciones industriales y tendencias. CETMAR*, 193-205.
- Carrera, S. 2018. Efecto de la salinidad y la calidad del silicato sobre el crecimiento de la diatomea *Chaetoceros muelleri*. *Investigaciones Agroempresariales*, 5: 34-44.
- Chasquibol, C.S. 2021. *Revisión de técnicas de producción de biocombustibles a partir de microalgas. [Tesis de licenciatura]. Universidad César Vallejo, Perú. 79 págs.*
- Fakhri, M., N.B. Arifin, B. Bidianto, A. Yuniarti and A.M. Hariati. 2015. Effect of Salinity and Photoperiod on Growth of Microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. *Nature Environment and Pollution Technology*, 14(3): 563-566.
- Guillard, R.L. and S.M. Sieracki. 2005. Counting cells in cultures with the light microscope. In: R.A. Andersen (Ed). *Culturing techniques*. Elsevier, London.
- Khatoon, H., N.A. Rahman, S. Banerjee, N. Harum, S.S. Suleiman, N.H. Zakaria, F. Lananan, S.H. Hamid and A. Endut. 2014. Effects of different salinities and pH on the growth and proximate composition of *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. isolated from South China Sea cultured under control and natural condition. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95: 11-18.
- Kouhgard, E., L. Khalifeh and T. Maqsoodloo. 2016. The effect of different salinities on density of *Nannochloropsis oculata* under laboratory Conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (7): 2298-2304.
- López, E.J., L.N. García, G.L. Jiménez y A.N. Huerta. 2009. Crecimiento de la diatomea *Thalassiosira pseudonana* en cultivos estáticos con iluminación continua y fotoperiodo a diferentes salinidades. *Biotechnia*, 11(1): 11-18.
- Markose, S., A. Chellappan, P. Thangamani, S. George, S. Thangaswamy, C. Thavasinuthu y M. Mariavincent. 2020. Optimización de parámetros físicos para el crecimiento y la producción de lípidos en *Nannochloropsis gaditana* (Lubian, 1982). *J. Appl. Biol. & Biotech*, 8(03): 6-12
- Minhas, A.K., S. Gaur y A. Adholeya. 2023. Influencia de la intensidad de la luz y el fotoperiodo en el pigmento y la producción de lípidos de *Dunaliella tertiolecta* y *Nannochloropsis oculata* en tres medios de cultivo diferentes. *Heliyon*, 9:1-12.
- Osorio, K., K. Palacios, D. Lumbi, P. Hsieh, G.C. Zúñiga y A. Aguilar. 2020. Capacidad reproductiva de *Nannochloropsis oculata* a diferentes concentraciones de salinidad y fertilización: una contribución a la bioeconomía de la acuicultura. *Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(12): 1440-1445.
- Paes, C., G. Faria, N. Tinoco, D. Castro, E. Barbarino y S. Laurencó. 2016. Crecimiento, absorción de nutrientes y composición química de *Chlorella* sp. y *Nannochloropsis oculata* bajo inanición de nitrógeno. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(2): 275- 292.

- Parmar, A., N.K. Singh, A. Pandey, E. Gnansounou y D. Madamwar. 2011. Cianobacterias y microalgas: una perspectiva positiva para los biocombustibles. *Tecnología de Recursos Biológicos*, 102(22): 10163-10172.
- Pereira, G. F., R. A. Jáuregui, B. A. Devia y R. J. Rojas. 2017. Cultivo de microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para la alimentación de larvas de peces marinos. *Mutis*, 7(2): 81-85.
- Prieto, M., M. Mogollón, A. Castro y L. Sierra. 2005. Efecto del entorno de cultivo y las condiciones en la productividad de tres diatomeas marinas con potencial acuícola. *MVZ- Córdoba*, 10(1): 544-554.
- Ma, Y., Z. Wang, C. Yu, Y. Yin y G. Zhou. 2014. Evaluación del potencial de 9 cepas de *Nannochloropsis* para la producción de biodiesel. *Tecnología de Recursos Biológicos*, 167: 503-509.
- Markose, S., A. Chellappan, P. Thangamani, S. George, S. Thangaswamy, C. Thavasimuthu y M. Mariavincen. 2020. Optimización de parámetros físicos para el crecimiento y la producción de lípidos en *Nannochloropsis gaditana* (Lubian, 1982). *J. Appl. Biol. & Biotech.*, 8(03): 6-12.
- Vadiveloo, A., N.R. Moheimani, J.J. Cosgrove, P. Bahri y D. Parlevliet. 2015. Efecto de diferentes espectros de luz en el crecimiento y la productividad de *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae) aclimatada. *Investigación de Algas*, 8: 121-127.
- Wahidin, S., A. Idris y S.S. Muhammad. 2013. La influencia de la intensidad de la luz y el fotoperiodo en el crecimiento y el contenido de lípidos de las microalgas *Nannochloropsis* sp. *Bioresource Technology*, 129: 7-11.
- Wen, Z.Y. y F. Chen. 2003. Producción heterótrofa de ácido eicosapentaenoico por microalgas. *Biotechnología. Adv.*, 21(4): 273-94.
- Widihastuti, A., B. Satria, R. Yulianti and W. Tjahjaningsih. 2022. Tasa de crecimiento de la microalga *Nannochloropsis oculata* a diferentes escalas de cultivo. *J. de Aqua. Scie.*, 7(2):74-8.

## DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA DETECCIÓN DE MALEZA EN CAMPOS DE GIRASOLES

Jesús C. Carmona-Frausto<sup>1</sup>, Salvador Cervantes-Álvarez<sup>2</sup>, Kevin E. Bee-Cruz<sup>1</sup>, Adriana Mexicano-Santoyo<sup>1\*</sup> & Néstor M. Montoya-Pineda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Blvd. Emilio Portes Gil, No. 1301, C.P. 87010. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

[jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx), [m23380019@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:m23380019@cdvictoria.tecnm.mx),  
[adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx)

<sup>2</sup>Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara.

[salvador.cervantes7964@academicos.udg.mx](mailto:salvador.cervantes7964@academicos.udg.mx)

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología en Agricultura de Precisión. [nmontoya@uat.edu.mx](mailto:nmontoya@uat.edu.mx)

**RESUMEN.** Este trabajo presenta una herramienta enfocada en la detección de maleza en un campo de girasoles por medio de técnicas de visión artificial, en el artículo se presenta la estructura general de la herramienta que, a partir de un conjunto inicial de imágenes multispectrales, calcula varios índices de vegetación, posteriormente aplica sobre los datos técnicas de análisis de datos y modelos de clasificación previamente entrenados. La herramienta desarrollada logra la identificación de las clases Fondo, Maleza y Girasol con una Precisión del 81%, Recuerdo del 81%, Exactitud del 81.5%, F1 del 81% y Cohen Kappa del 72% por parte del modelo entrenado que utiliza las técnicas de Análisis de Componentes Principales, Máquinas de Vectores de Soporte y el kernel gaussiano.

**PALABRAS CLAVE:** Visión Artificial, Aprendizaje Máquina, Agricultura de Precisión.

**ABSTRAC.** This work presents a tool focused on the detection of weeds in a sunflower field through artificial vision techniques. The article presents the general structure of the tool that, based on an initial set of multispectral images, calculates several indices of vegetation, subsequently applies data analysis techniques, and previously trained classification models to the data. The developed tool achieves the identification of the classes Background, Weed and Sunflower with a Precision of 81%, Recall of 81%, Accuracy of 81.5%, F1 of 81%, and Cohen Kappa of 72% by the trained model that uses the techniques of Principal Component Analysis, Support Vector Machines and the Gaussian kernel.

**KEYWORDS:** Artificial Vision, Machine Learning, Precision Agriculture.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el pasado, debido a las pérdidas de cultivos en etapas tempranas, el ser humano llegó a la necesidad de implementar técnicas para controlar la maleza, enfermedades y parásitos. Algunas de estas técnicas fueron la rotación de cultivos (Espinoza *et al.*, 2007), labranza de cultivos, control biológico (Badii y Abreu, 2006), fuego controlado (Maquieyra *et al.*, 1985). No obstante, hoy en día se ha optado por innovar las técnicas para los cuidados de las cosechas con el propósito de ahorrar tiempo, esfuerzo y mejorar el desempeño de producción de los campos. Por lo cual, se ha implementado la Agricultura de Precisión (AP) (Ahmad *et al.*, 2024). La AP consiste en la incorporación de estrategias, definiciones, técnicas, herramientas tecnológicas actuales y avanzadas para sustituir las prácticas

tradicionales de la agricultura. La AP detecta, analiza y administra las variaciones dentro de los cultivos para conseguir un rendimiento, sustentabilidad y seguridad adecuada de los recursos del suelo. Las técnicas que comprenden la AP son Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), tecnología de tasa variable (TRV), monitoreo de rendimiento y Percepción Remota (PR), siendo este último una parte fundamental en este trabajo. La PR se basa en la recopilación de datos de zonas o elementos sin la necesidad de tener una distancia de observación cercana a ellos. Esta particularidad ha permitido evaluar las cualidades del suelo a través del espectro electromagnético. En regiones como el visible, el infrarrojo y la región del microondas. Dicha cualidad, ha logrado la base para la

construcción de herramientas para la detección de estrés, plagas y enfermedades en los cultivos por medio de la Visión Artificial (VA).

La VA es una disciplina conformada por un grupo de técnicas que facilitan la obtención, procesamiento, y la evaluación de imágenes (Dominguez, 2021). La aspiración de la VA es que, una computadora pueda recopilar y manipular los datos para resolver preguntas acerca de su contenido. Esta capacidad ha sido esencial en trabajos como la segmentación de hojas y frutos de plantas de tomate por medio de la dominancia del color (Guerra *et al.*, 2023), la detección de plagas de maíz y soja por medio del uso de detección de objetos en tiempo real con el modelo YOLO y la biblioteca Detectron2 (Silva *et al.*, 2024).

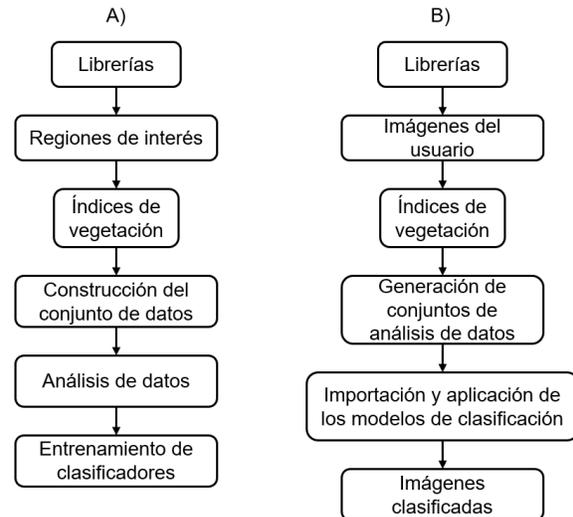
Por lo anterior, la VA ofrece una alternativa para la detección de la maleza en campos de girasoles. La maleza al ser un problema habitual en los cultivos suele afectar de manera paulatina el crecimiento de las cosechas limitando la obtención de nutrientes para que alcancen la etapa óptima de producción muriendo durante el proceso (Gómez, 1995). Debido a ello se han realizado trabajos con el objetivo de identificar las zonas donde se encuentra la maleza, ejemplo de ello son la evaluación de la densidad de malezas a campo abierto utilizando imágenes de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) con una red neuronal U-NET (Zou *et al.*, 2021), la estimación de la densidad y dispersión de maleza por medio del aprendizaje semi-supervisado (Shorewala *et al.*, 2021), la identificación de malezas en un campo de caña por medio de imágenes obtenidas con un VANT (Yano *et al.*, 2016), la detección de maleza en cultivos de papa con apoyo de algoritmos del Aprendizaje Profundo (Khan *et al.*, 2022), la detección de malezas usando la característica de su estructura utilizando Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) y Redes Neuronales (Bakhsipour *et al.*, 2018).

En este trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta para detectar la maleza en campos de girasoles. Esta herramienta está basada en el uso del aprendizaje supervisado. Esta herramienta analiza los píxeles que posee cada imagen con la finalidad de localizar la zona en específico donde se encuentren las clases de interés fondo, maleza y girasol. Entendiendo por maleza cualquier tipo de planta no deseada que crece en un lugar donde

no se desea. Para el análisis de las clases, se utilizaron principalmente los Índices de Vegetación (IV) basados en la reflectancia que emitió cada una de las clases, los conjuntos de datos fueron generados mediante el uso de análisis como: el Análisis de Correlación (AC), Análisis de Componentes Principales (ACP), Auto Encoder (AE), Análisis de Correlación con Análisis de Componentes Principales (AC-ACP) y Análisis de Correlación con Auto Encoder (AC-AE). Los clasificadores SVM, k-Vecino más cercano (kNN) y Bayes Ingenuo (NB), fueron usados para clasificar los píxeles de las imágenes dentro de las clases fondo, maleza y girasol.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE LA HERRAMIENTA

La herramienta consta de 2 etapas. La etapa de entrenamiento que consiste en construir el modelo de entrenamiento del algoritmo y la etapa de pruebas que consiste en la utilización de los modelos entrenados mediante una interfaz gráfica. La Figura 1 representa el diagrama general del desarrollo de la herramienta.



**Figura 1.** Etapas de construcción de la herramienta: A) Etapa de entrenamiento; B) Etapa de pruebas.

### A) Etapa de entrenamiento:

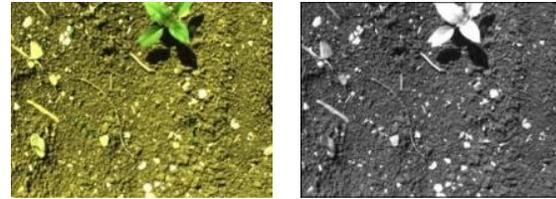
Durante esta etapa se instalaron las librerías OpenCV, Scikit-learn, Pandas, Keras, Tensorflow, Seaborn, Matplotlib, Numpy, Joblib, Pickle, Time y Random. Cada una de ellas forma la base de la construcción de modelo entrenado. Posteriormente, se construyeron y

se cargaron las regiones de interés (ROI) desarrolladas en software ENVI, las cuales están basadas en imágenes multiespectrales con los canales de colores Rojo, Verde, Azul (RGB) e Infrarrojo Cercano (NIR). Estas imágenes fueron extraídas del trabajo de Fawakherji *et al.* (2021).

Para el entrenamiento del modelo se utilizaron 25 imágenes. No obstante, al ser una cantidad pequeña, se aplicaron técnicas como el espejo, desplazamiento, rotación e incremento de brillo y contraste para tener una total de 125 imágenes divididas en ROI con lo que se logró aumentar la cantidad de imágenes. Se utilizó un 80% de las imágenes como entrenamiento y un 20% de prueba. Posteriormente, se obtuvieron los IV de las imágenes ingresadas para establecer las clases Fondo, Maleza, y Girasol que son los elementos de interés en este trabajo y se estableció la clase para cada grupo de datos generado a partir de los IV, con la finalidad de crear un sólo conjunto que almacene las 3 clases. Después, se le aplicó al nuevo conjunto de datos, cada uno de los algoritmos de AC, ACP, AE, AC-ACP y AC-AE para reducir y eliminar los datos redundantes utilizados en el proceso de clasificación, ya que sólo generan ruido y aumentan el tiempo de procesamiento. Finalmente, los 5 nuevos conjuntos de datos obtenidos a partir de los análisis anteriores son procesados por medio de los clasificadores SVM con los kernel polinomial, gaussiano y lineal; kNN con las variantes pesos uniformes y ponderados; NB con los modelos gaussiano, multinomial y Bernoulli.

### B) Etapa de pruebas:

Esta etapa consistió en la implementación de las librerías; importación de las imágenes multiespectrales del campo (ver Figura 2); la aplicación de los IV; la generación de los conjuntos de análisis de datos configurados previamente en la fase de entrenamiento; la importación y aplicación de los modelos de clasificación desarrollados en la fase de entrenamiento y finalmente, la obtención de las imágenes clasificadas.

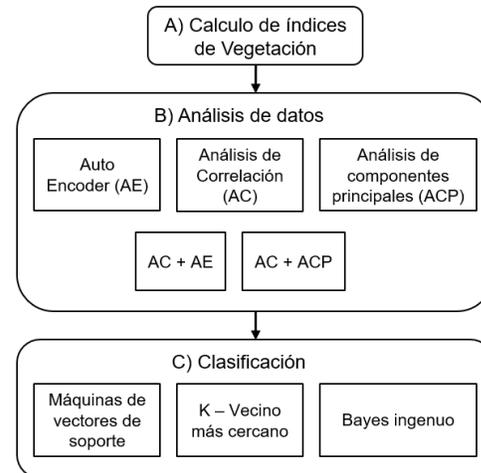


A) Imagen RGB B) Imagen NIR

**Figura 2.** Ejemplo de las imágenes que utiliza la herramienta. A) Imagen en canales RGB; B) Imagen en canal NIR.

### 3. METODOLOGÍA

Para implementar la herramienta se llevaron a cabo las fases que se muestran en la Figura 3. A) Cálculo de índices de vegetación: Consiste en representar el estado actual de las plantas a través de rangos de valores; B) Análisis de datos: consiste en el desarrollo de los conjuntos de datos que se utilizaron para la clasificación y C) Clasificación: aplicación de diferentes clasificadores sobre los datos generados en la fase B.



**Figura 3.** Fases de la metodología para implementar la parte funcional de la herramienta.

#### 3.1. Cálculo de Índices de Vegetación

Los índices de vegetación tienen el propósito de mostrar a través de una escala de valores las regiones que pertenecen a una planta o elementos de interés en una imagen. Esto se debe a la reflectancia, es decir, si una planta está sana o enferma refleja una radiación diferente, lo cual, permitiría realizar trabajos como la detección de la salud en que se encuentre una vegetación. Para calcular un IV se requiere del uso de canales espectrales

específicos de la cámara, ejemplo de ello es el Índice de Razón Simple (SR) el cual está definido como el valor del canal *NIR* entre el *Green*.

El índice de SR utiliza los canales espectrales NIR y GREEN para estudiar la salud de la vegetación. Este índice al igual que los otros 20 que se utilizaron para el entrenamiento del modelo, tiene la finalidad de representar una característica de una clase (Lan *et al.*, 2020). Es decir, cada IV puede llegar a proporcionar valores diferentes, por lo cual, son fundamentales para el entrenamiento de los clasificadores, ya que, en base a ellos, se podrá identificar a qué clase pertenece cada píxel de las imágenes. La detección de las diferentes clases (Fondo, Maleza y Girasol) es posible por medio de la escala de valores de cada clase, lo que se traduce en diferentes valores para los índices de vegetación. Una vez aplicado cada IV sobre las imágenes, se genera un conjunto de datos que englobe todos los IV de las clases Fondo, Maleza y Girasol para que sean procesados por los algoritmos AC, ACP, AE, AC-ACP y AC-AE.

### 3.2. Análisis de datos

Utilizar los 20 IV puede ser redundante, ya que algunos pueden coincidir en los valores que poseen. Por lo cual, el análisis de datos ofrece una alternativa para reducir la cantidad de IV, que a su vez contribuye en reducir el tiempo de procesamiento de la herramienta. En este trabajo se aplicó el AC, ACP, AE, AC-ACP y AC-AE.

#### 3.2.1. Análisis de Correlación (AC)

El AC permite estudiar cada una de las variables por medio del coeficiente producto – momento de Pearson. La particularidad de AC se basa en denotar cuáles variables tienen un alto índice de correlación entre el rango de 0 a 1 ya que se utilizó una transformación lineal para establecer ese rango de similitud entre las variables. Posteriormente, se eliminan aquellas variables que tienen una alta correlación debido a que representan información redundante que puede elevar el tiempo de procesamiento y ocasionar ruido al aplicar las técnicas de clasificación. En la fase de entrenamiento se estableció un rango de eliminación de correlación de 0.96 a 1 ya que fue el que mejores resultados presentó en comparación con los rangos de 0.94 a 1 y 0.98 a 1. El rango establecido eliminó los siguientes índices: el

Índice de Pigmentos Intensivos de Estructura (SIPI), Índice de Vegetación por Diferencia (DVI), Índice Optimizado de Vegetación Ajustado al Suelo (OSAVI), Índice de Vegetación por Relación (RVI), Índice de Razón Simple SR, Índice de Diferencia Normalizada de Verde (NDGI), Índice de Porcentaje de Vegetación en Infrarrojo (IPVI), Índice de Vegetación Triangular Modificada 1 (MTVI1), Índice de Vegetación Triangular Modificada 2 (MTVI2), Índice de Diferencia Vegetal Renormalizado (RDVI), Índice de Diferencia Normalizada Verde-Rojo (GRNDVI), Banda Normalizada del Infrarrojo Cercano (NormNIR).

#### 3.2.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP estudia todas las variables generadas por los IV al igual que AC. No obstante, su diferencia se basa en que ACP selecciona aquellas variables que tienen una mayor varianza o que aportan más información al conjunto de datos y pueden representarlo sin la necesidad de usar todas las variables del conjunto de datos inicial. En este trabajo se seleccionaron los 3 componentes principales que presentaron la mayor varianza [0.8031, 0.1629, 0.0168] dando un total de 0.9829 de varianza. Los experimentos mostraron que los 3 componentes principales elegidos obtuvieron mejores resultados que al utilizar 5 y 10 componentes principales.

#### 3.2.3. Auto Encoder (AE)

AE es una red neuronal que busca reducir la cantidad de variables o dimensiones, para reducir el tiempo de ejecución y proporcionar la información indispensable para clasificar correctamente los datos. El proceso de AE se compone de un Codificador y un Decodificador, el Codificador busca reducir la cantidad de variables que entran en la “capa de entrada” por medio de “capas ocultas” hasta llegar a una capa llamada “capa de código latente”. Posteriormente, el Decodificador, a partir de la capa de código latente, reconstruye nuevamente las variables totales que entraron en la capa de entrada por medio de capas ocultas y una capa de salida. Durante cada época o iteración en que se ejecuta la red neuronal, hay una pérdida de datos que determina el margen de error con el que se generó nuevamente la capa de entrada en la capa de salida. La pérdida óptima siempre será la más cercana al 0. En este trabajo, durante

las 20 épocas que se reconstruyó la red neuronal se obtuvieron pérdidas de [0.0611, 0.0118, 0.0107, 0.0043] hasta llegar a un error de  $8.2753e-04$  en la última época.

### 3.2.4. AC-ACP

Consiste en una combinación entre el Análisis de Correlaciones y el Análisis de Componentes Principales. La finalidad es reducir aún más la cantidad de variables que se utilizan para que el tiempo de procesamiento en los clasificadores sea menor. En este caso, se tomó el conjunto de datos con los 8 IV resultantes después de aplicar AC y se le aplicó ACP seleccionando los 3 componentes principales con la mayor varianza [0.7018 0.2555 0.0197] dando un 0.9771 de varianza total.

### 3.2.5. AC-AE

Es una combinación entre el conjunto de datos generado por AC y AE. En esta combinación, se utiliza el conjunto de datos generado por AC y se aplica la red neuronal para reducir las variables restantes a sólo 3 neuronas dando una pérdida de datos de [0.3768, 0.0430, 0.0230, 0.0229] durante cada época hasta llegar a la época 20 con una pérdida de 0.0228.

## 3.3. Clasificación

### 3.3.1. Máquinas de vectores de soporte

Se aplicó SVM a los conjuntos de datos obtenidos anteriormente por medio de los análisis (Gupta y Sehgal, 2021). SVM tiene la facilidad de utilizar funciones (Kernel) para establecer un límite y dividir los datos por medio de la asignación de clases. El objetivo de SVM consiste en ubicar un hiperplano que divida de manera equitativa las características en distintas regiones. Las funciones (Kernel) utilizadas durante esta herramienta fueron gaussiana, lineal y polinomial.

### 3.3.2. k-Vecino más cercano (kNN)

La meta principal de kNN es clasificar la información en distintas clases para predecir la clase de un nuevo punto de datos. El algoritmo de kNN estima la probabilidad de que un punto de información pertenezca a un grupo estudiando los puntos de datos que se encuentran cerca de un punto en específico. En este trabajo se utilizó kNN para la clasificación utilizando los modelos pesos uniformes y ponderados de la librería Scikit-learn.

### 3.3.3. Bayes ingenuo

NB se reconoce como ingenuo ya que asume que cada característica aporta de manera individual a la identificación de una clase sin la necesidad de depender de otras y Bayes porque utiliza el teorema de Bayes (Webb, 2016). En este trabajo NB se utilizó para identificar las clases del Fondo, Maleza y Girasol. Las variantes del modelo que se utilizaron fueron gaussiano, multinomial, Bernoulli.

## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA

El objetivo principal de la herramienta es generar las clases Fondo, Maleza y Girasol, a partir de las imágenes ingresadas. Para usar la herramienta se deben ingresar las imágenes multispectrales. Las imágenes deben contener los canales combinados RGB y la imagen en escala de grises del canal NIR como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Selección de imágenes multispectrales.

Posteriormente, la herramienta obtendrá los 20 IV del conjunto de imágenes ingresadas utilizando los canales separados de la imagen RGB y el canal NIR. Después, se aplica directamente el AC, se importan las configuraciones de los conjuntos de análisis de datos como ACP, AE, AC-ACP y AC-AE que se crearon durante la fase de entrenamiento del modelo. Una vez cargados los datos, se aplican sobre el conjunto de datos obtenido a partir de las imágenes ingresadas por el usuario. Se incorporan los modelos de clasificación SVM, kNN, NB que se desarrollaron durante la fase de entrenamiento. Finalmente, se aplican los modelos de clasificación y se generan las imágenes clasificadas para ser presentadas en la herramienta.

## 5. PRUEBA DE DESEMPEÑO

Una vez importadas las imágenes, la herramienta proporciona 3 diferentes opciones de visualización de resultados: “Índices de vegetación”, “Análisis de datos” e “Imágenes clasificadas”, como se muestra en la Figura 5. En el menú “Índices de vegetación” es posible observar las imágenes que se generan al aplicarle los 20 IV divididos en secciones. Estos IV permiten conocer cómo se interpretan ciertas áreas a través de una paleta de colores adaptada a los índices como se presenta en la Figura 6. Los colores que presenta la Figura 6 muestran que elementos como el girasol y la maleza están en una gama de amarillos a diferencia del fondo que en su mayoría es azulado.

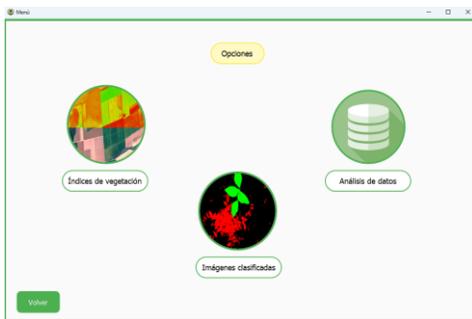


Figura 5. Menú de opciones.



Figura 6. Índices de vegetación.

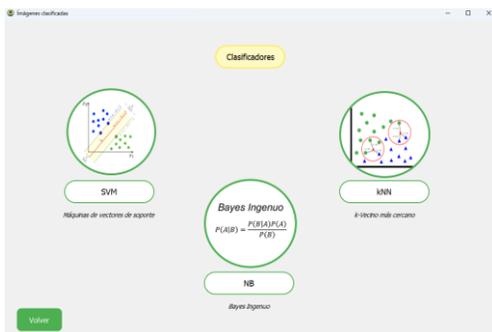


Figura 7. Selección de clasificadores.

La herramienta también cuenta con la ventana “Análisis de datos” donde se presentan las gráficas generadas al aplicar los análisis AC, ACP, AE, AC-ACP y AC-AE. Por último, se encuentra la opción de “Imágenes clasificadas”. Esta opción ofrece los resultados de los 3 clasificadores que se encuentran en la herramienta, es decir, SVM, KNN y NB como se muestra en la Figura 7. Cada uno de los algoritmos proporciona una clasificación basada en sus propias operaciones. Analizar cada una de las perspectivas ofrece la alternativa de saber que, si 2 o 3 opiniones coinciden en la clasificación un área en específico, ahí se encuentra la anomalía de este estudio, es decir, la Maleza.

## 6. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, se utilizaron imágenes en formato RGB y NIR. Estas imágenes contenían los elementos de interés, es decir, Fondo, Maleza y Girasol. Una vez clasificadas, la herramienta permitió visualizar los resultados a través de los 40 conjuntos de imágenes construidos a partir de que SVM se probó con 3 variantes y utilizó los 5 conjuntos de análisis, así mismo con las variantes de KNN y NB.

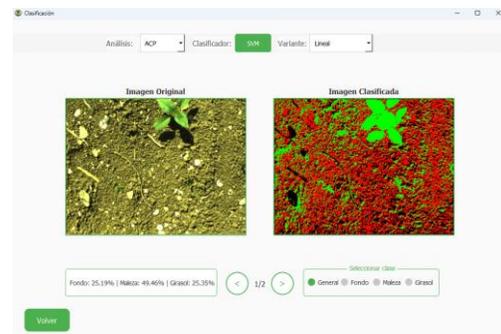


Figura 8. ACP SVM lineal.

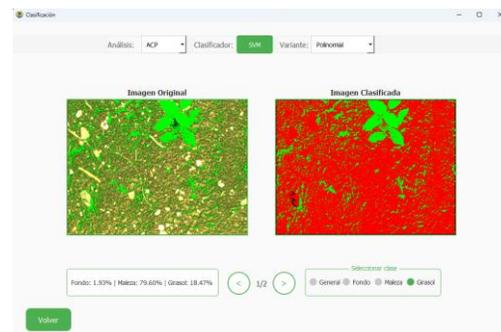


Figura 9. ACP SVM polinomial.

La Figura 8 muestra el resultado brindado al aplicar ACP con el clasificador SVM y su variante lineal. Esta imagen permite obtener una comparación entre la imagen original y la imagen clasificada donde se muestra un porcentaje del 25.19% Fondo, 49.46% Maleza y 25.35% Girasol. Estos porcentajes señalan la cantidad de píxeles que le pertenecen a cada una de las clases en cada imagen. Además, la herramienta permite pintar los píxeles que representan a cada clase en la imagen original como se muestra en la Figura 9, donde se aplicó ACP y SVM con la variante polinomial y se pintaron los píxeles que representan al Girasol en la "Imagen Original". La Figura 10 presenta el resultado obtenido por ACP kNN con pesos ponderados donde obtuvo un porcentaje de 27.47% Fondo, 56.80% de Maleza y 15.74% de Girasol en ella se ven pintados los píxeles de la clase Fondo en la "Imagen Original". En estos resultados, se presenta que la clase Maleza posee la mayor parte de la imagen. Es posible decir que esta clasificación es incorrecta, sin embargo, observar que también tomó en cuenta el Fondo y el Girasol permite saber si se están tomando en cuenta durante la clasificación.

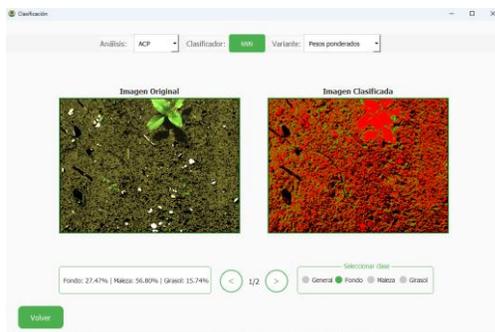


Figura 10. ACP kNN Pesos ponderados.

Por último, en la Figura 11, se presenta la clasificación obtenida al aplicar AC y NB Bernoulli. En esta imagen es posible observar cómo la mayor parte de la imagen pertenece a la clase Fondo con un 93.88%, Maleza con un 5.17% y Girasol con un 0.94% siendo una clasificación "buena" ya que, el porcentaje identificado fondo es prácticamente coincidente con el porcentaje real de dicha clase. Sin embargo, también tomó parte del Girasol como maleza presentando un bajo porcentaje de error en la clasificación. Esto se debe principalmente a que el entrenamiento del modelo se realizó con un pequeño grupo de imágenes con técnicas de aumento de datos

perdiendo variabilidad. Sin embargo, estos porcentajes de clasificación son de utilidad para lograr la detección de maleza mediante imágenes multispectrales en un ambiente práctico.

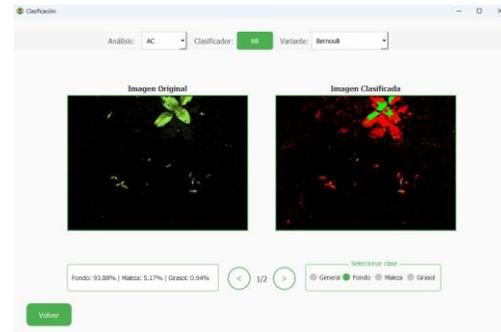


Figura 11. AC NB Bernoulli.

## 7. DISCUSIÓN

A lo largo de la historia, el ser humano ha desarrollado diversas estrategias para erradicar la maleza en sus cultivos, adaptándose a las condiciones del entorno y a los avances tecnológicos. Entre las primeras técnicas utilizadas destacan la labranza y el control biológico (Badii y Abreu, 2006), las cuales sentaron las bases para la identificación y gestión de malezas mediante análisis visual. Sin embargo, estos métodos presentaban limitaciones en cuanto a eficiencia y precisión. En la actualidad, la Visión Artificial (VA) ha emergido como una alternativa para mejorar la detección y clasificación de malezas en los cultivos. Ejemplos de su aplicación incluyen la segmentación de hojas y frutos (Guerra *et al.*, 2023), el estudio de la densidad de malezas en un campo (Zou *et al.*, 2021) y la detección de malezas en cultivos agrícolas (Yano *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2022). En este contexto, el presente trabajo proporciona una herramienta basada en Aprendizaje Supervisado para la detección de clases específicas: fondo, maleza y girasol. A diferencia de los estudios previos mencionados, este enfoque se basa en el entrenamiento de un modelo con un conjunto de datos etiquetados, lo que permite una clasificación más precisa y la obtención de datos visuales estructurados.

## 8. CONCLUSIONES

El desarrollo de una herramienta para la detección de maleza en los campos de girasoles a través de las técnicas que utilicen la

visión artificial no es una tarea sencilla ya que para llegar a resultados visibles, se tuvo que construir principalmente una fase de entrenamiento de la herramienta que abordara cada uno de los conjuntos de datos generados a partir de análisis como: AC, ACP, AE, AC-ACP, AC-AE y diferentes modelos de clasificación cada uno con sus variantes: SVM con los kernel polinomial, gaussiano, lineal; kNN con los modelos pesos uniformes, pesos ponderados; NB con las variantes gaussiano, multinomial, Bernoulli. Para la experimentación, se utilizaron imágenes tomadas por una cámara multispectral con los canales RGB y NIR, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de la herramienta ya que estos canales eran la base de la aplicación de los IV que consiste en la construcción del conjunto de datos principal.

Finalmente, se obtuvieron resultados visuales donde se pueden observar las 3 clases utilizadas en este trabajo como puntos de interés. Esto permite ofrecer una alternativa mediante el uso de visión artificial con base en el aprendizaje supervisado aplicado a la segmentación de píxeles proporcionando una base para la continuación de trabajos en el futuro que requieran detectar diferentes zonas de interés en otro tipo de cultivos e incluso la detección de alguna enfermedad que se encuentre en ellos con base en la reflectancia que proporcione la vegetación a través de los IV. Pero sobre todo se proporciona una herramienta útil y asequible para los agricultores enfocados en la fabricación de aceites, cremas y alimentos derivados del girasol de manera que resguarde el control de calidad contra la anomalía que representa la maleza para los campos de producción.

## 9. LITERATURA CITADA

- Ahmad, L., G. Shoaib y A. Biswas. 2024. Fundamentals and Applications of Crop and Climate Science. *Precision Agriculture*, 1: 151-161. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61459-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61459-0_7)
- Badii, M. y J. Abreu. 2006. Control biológico una forma sustentable de control de plagas (Biological control a sustainable way of pest control). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 1(1): 82-89.
- Domínguez, T. 2021. *Visión artificial: Aplicaciones prácticas con OpenCV - Python*. Marcombo, España, 338 pp.
- Espinoza, Y., Z. Lozano y L. Velásquez. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia*, 32(8): 554-559.
- Fawakherji, M., C. Potena, A. Pretto, D. Bloisi y D. Nardi. 2021. Multi-Spectral Image Synthesis for Crop/Weed Segmentation, Precision Farming. *Robotic and Autonomouns Systems*, 146(1). doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103861>
- Gómez J. 1995. Control de malezas, Pp.143-152, *In: C. Cassalett-Dávila, J. Torres-Aguas y C. Issacs Echeverri (Eds.). El cultivo de caña en la zona azucarera de Colombia, Centro de Investigación de la caña de azúcar en Colombia, Colombia.*
- Guerra J., F. Cuevas y O. Arellano. 2023. Segmentation of Leaves and Fruits of Tomato Plants by Color Dominance. *AgriEngineering*, 5(4): 1846-1864. doi: <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040113>
- Gupta P. y N. Sehgal. 2021. Introduction to Machine Learning in the Cloud with Python. SpringerCham, 1(1). doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-71270-9>
- Khan F., N. Zafar, M. Naveed, M. Aqib, S. Saleem y Z. Haroon. 2022. Deep Learning-Based Approach for Weed Detection in Potato Crops. *Environ. Sci. Proc.*, 23(1): 6. doi: <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023006>
- Lan Y., Z. Huang, X. Deng, Z. Zhu, H. Huang, Z. Zheng, B. Lian, G. Zeng y Z. Tong. 2020. Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(1). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105234>
- Maquieyra C., G. Schiavi, O. Zingaretti, V. Zorzi y E. Cano. 1985. Efecto de un Fuego Controlado en los Estratos Graminoso y Leñoso de un Bosque de Calden. *Rev. Fac. Agronomía U.N.L.Pam.* 1: 1-2.

- Shorewala S., A. Ashfaq, R. Sidharth y U. Verma. 2021. Weed Density and Distribution Estimation for Precision Agriculture Using Semi-Supervised Learning. *IEEE Access*, 9(1): 27971-27986. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3057912>
- Silva G., L. Silva, L. Silva., P. Costa, R. Oliveira, M. Cândido, M. Oliveira, M. Batista y H. Carmona. 2024. Performance Analysis of YOLO and Detectron2 Models for Detecting Corn and Soybean Pests Employing Customized Dataset. *Agronomy*, 14(10): 2194. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102194>
- Yano I., R. Alves, W. Santiago y B. Mederos. 2016. Identification of weeds in sugarcane fields through images taken by UAV and Random Forest classifier. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16): 415-420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.076>
- Zou K., X. Chen, F. Zhang, H. Zhou y C. Zhang. 2021. A Field Weed Density Evaluation Method Based on UAV Imaging and Modified U-Net. *Remote Sensing*, 13(2): 310. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13020310>
- Bakhshipour A. y A. Jagari. 2018. Evaluation of support vector machine and artificial neural networks in weed detection using shape features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145(1): 153-160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.032>
- Webb, G. 2016. Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining. In: Sammut, C., Webb, G. (Eds). doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7502-7\\_581-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7502-7_581-1)

## IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN EL INSTITUTO NACIONAL DE MIGRACIÓN

*Diana V. Zúñiga-Zapata, Flora A. González-Jiménez, Raúl A. Derat-Solís  
& Mayra E. González-Guillén*

*Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Blvd. Emilio Portes Gil,  
No. 1301, C.P. 87010. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.  
[L19380320@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:L19380320@cdvictoria.tecnm.mx), [flora.gj@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:flora.gj@cdvictoria.tecnm.mx), [raul.ds@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:raul.ds@cdvictoria.tecnm.mx),  
[MG24380016@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:MG24380016@cdvictoria.tecnm.mx)*

**RESUMEN.** Seis Sigma es una metodología de mejora de procesos que se centra en la reducción de la variación y la eliminación de defectos para mejorar la calidad y eficiencia en una organización. Esta metodología utiliza el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) para guiar a los equipos en la mejora de procesos y se aplicó en el Instituto Nacional de Migración para lograr cumplir sus objetivos institucionales mediante la optimización de la eficiencia operativa y reduciendo costos asociados con defectos y variaciones en los procesos. Una vez implementadas las mejoras, se establecieron medidas de control para monitorear el desempeño del proceso y garantizar que las mejoras se mantengan a lo largo del tiempo. Se logró una reducción del 9.5% en el consumo de combustible en promedio, lo cual llevó a una reducción en los costos en el mismo porcentaje.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad, Seis Sigma, mantenimiento, rendimiento, optimización, eficiencia, flotilla de vehículos.

**ABSTRACT.** Six Sigma is a process improvement methodology that focuses on reducing variation and eliminating defects to improve quality and efficiency in an organization. This methodology uses the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) to guide teams in process improvement and was applied at the National Institute of Migration to achieve its institutional objectives by optimizing operational efficiency and reducing costs associated with defects and variations in processes. Once the improvements were implemented, measures were put in place to monitor the performance of the process and ensure that the improvements are sustained over time. A 9.5% reduction in fuel consumption was achieved on average, which led to a reduction in costs by the same percentage.

**KEY WORDS:** Quality, Six Sigma, maintenance, performance, optimization, efficiency, vehicle fleet.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el entorno del Instituto Nacional de Migración (INM), la gestión de flujos migratorios y la administración de trámites son críticas para garantizar el orden y la seguridad nacional, por lo que la eficiencia, la precisión y la calidad en los procesos administrativos son aspectos de suma importancia, debido al dinamismo que en los últimos años ha presentado la migración en nuestro país.

En este contexto altamente demandante, la implementación de metodologías probadas para la mejora continua permite optimizar la operación del INM y cumplir con eficacia sus funciones y responsabilidades. Manzano y Ávalos (2023) señalan la importancia de contar con datos verídicos, confiables y actualizados

para la toma de decisiones orientada a mejorar el desempeño de las organizaciones.

Entre las diversas metodologías disponibles para mejorar la gestión y eficiencia de los procesos, explica Laoyan (2024), Seis Sigma emerge como una herramienta poderosa y eficaz. Originada en entornos industriales, esta metodología ha demostrado ser igualmente efectiva en contextos administrativos y de servicios, ofreciendo un enfoque sistemático y basado en datos para identificar, analizar y mejorar los procesos en todas las áreas de una organización.

Stanivuk *et al.* (2020) establecen que el proyecto Seis Sigma, implementado para reducir costos y aumentar la disponibilidad de una flota de vehículos en una empresa

seleccionada, puede aplicarse ampliamente en otras empresas similares. Aire *et al.* (2021) obtuvieron un incremento en el nivel de servicio de 87.79% a 95.98% y una mejora en la utilización de la flota propia de 71.97% a 92.7%, al aplicar Seis Sigma para mejorar la calidad del servicio de transporte en un operador logístico. Aunque las aplicaciones que se han citado se refieren a empresas privadas, los resultados de este proyecto demuestran que esta metodología puede aplicarse en las instituciones gubernamentales para mejorar su desempeño de manera significativa.

Este artículo se ha organizado de la manera siguiente: en la sección dos se encuentra el planteamiento del problema, el objetivo general, los específicos y la justificación; en la sección tres está el marco teórico, el cual se refiere a la revisión de literatura sobre la metodología Seis Sigma y los tipos de mantenimiento; en la sección cuatro se presenta la aplicación de Seis Sigma en los procesos del INM; la sección cinco muestra los resultados; la sección seis, aparece la discusión de los resultados; en la sección siete se encuentran las conclusiones del proyecto y por último, en la sección ocho, la literatura consultada.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el INM, su mayor recurso y en el que han detectado gran deficiencia en su uso, es la flotilla de vehículos para el traslado tanto del personal para desarrollo de sus funciones como de los migrantes. Actualmente se dispone de una flotilla de 11 vehículos, cuya información se muestra en la tabla 1; estos vehículos cubren los traslados del personal a puntos carreteros, visitas a estaciones migratorias y centros de control, también traslado de migrantes extranjeros. Fue necesario realizar una revisión de cada uno de éstos para encontrar las fallas tanto internas como externas, así como deficiencias en el área administrativa y en el control de combustible. Actualmente, el INM ha concluido que no se está prestando la debida atención a cada uno de los vehículos, lo que ha llevado a la necesidad de implementar medidas para prolongar su vida útil, que son fundamentales para la institución.

**Tabla 1.** Flotilla vehicular INM

Cantidad	Descripción	Modelo
5	Camioneta 4 puertas, 6 cilindros, 5 pasajeros. Identificadas con los números 1, 2, 3, 4 y 10	2020
4	Camioneta 4 puertas, 4 cilindros 14 pasajeros Identificadas con los números	2020 2021 2021 2022
1	Camioneta 4 puertas, 6 cilindros, 15 pasajeros	2020
1	Auto compacto 4 puertas, 4 cilindros, 4 pasajeros identificado con el número 11	2020

### 2.1 Definición del problema

Considerando la información encontrada en el departamento de recursos materiales con respecto a la administración de los vehículos de que se dispone, los problemas detectados son: deficiente administración de la flota de vehículos; grandes tiempos de traslado; deficiente aplicación del mantenimiento preventivo; deficiente uso de tecnología para seguimiento de vehículos.

### 2.2 Objetivo general

Mejorar la eficiencia operativa para reducir costos de mantenimiento y aumentar la seguridad vial, garantizando así un transporte seguro, confiable y eficiente para el personal migratorio en el cumplimiento de sus funciones institucionales, esto incluyendo el transporte hacia los distintos puntos de control migratorio en carreteras, así como el traslado de extranjeros a sus respectivos lugares de origen.

### 2.3 Objetivos específicos

- Optimizar el uso de la flota de vehículos para garantizar un traslado más eficiente de personal y recursos.
- Reducción de costos operativos.
- Mejora de la planificación de las rutas y la implementación de prácticas para minimizar los tiempos de espera.
- Revisión y actualización de los programas de mantenimiento vehicular.
- Garantizar un rendimiento óptimo y reducir el tiempo de inactividad debido a reparaciones no planificadas.
- Implementación de programas de mantenimiento proactivo.
- Capacitación del personal en técnicas de mantenimiento eficaces.

## 2.4 Justificación

La problemática que presenta el INM aborda los desafíos complejos asociados con la gestión migratoria, desde la recepción y procesamiento de solicitudes de visas y permisos de residencia, hasta la coordinación interinstitucional y la gestión de bases de datos, los procesos administrativos son variados y requieren una gestión eficiente y precisa. Al adoptar Seis Sigma, el INM puede beneficiarse de un enfoque estructurado y científico para mejorar sus procesos, reducir errores, minimizar tiempos de espera y optimizar recursos. Mediante el análisis de datos en tiempo real y la generación de informes de rendimiento, se pueden identificar áreas de mejora en la eficiencia operativa y la seguridad de la flotilla de vehículos, lo cual permite una toma de decisiones más informada y proactiva. La metodología Seis Sigma proporciona un enfoque estructurado y orientado a datos para la identificación y eliminación de defectos y desperdicios en los procesos operativos. Lo anterior permitirá la optimización de los procedimientos de mantenimiento, logística y gestión de flotillas de vehículos, lo que resultará en una mejora significativa de la eficiencia operativa.

## 3. MARCO TEÓRICO

El INM requiere fortalecer su capacidad para llevar a cabo de manera efectiva sus funciones críticas en el ámbito del control migratorio, garantizando un servicio confiable, seguro y eficiente para todos los involucrados, es decir, optimizar el uso de los recursos con que cuenta para realizar sus funciones y proporcionar un servicio de calidad.

Laisequilla (2023), define que el Seis Sigma es una metodología empresarial que se enfoca en mejorar la calidad de los procesos mediante la identificación y eliminación de defectos o variaciones, con el objetivo de alcanzar niveles muy altos de precisión y consistencia en la producción y entrega de productos o servicios. Stanivuk *et al.* (2020) precisan que esta metodología se originó en Motorola en la década de 1980 y desde entonces ha sido adoptada por muchas organizaciones globales como una forma efectiva de mejorar la calidad, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente. El nombre "Seis Sigma" proviene de la estadística, donde "sigma" ( $\sigma$ ) representa la desviación estándar que se utiliza para medir la

variabilidad en un proceso. El objetivo de Seis Sigma es alcanzar un nivel de rendimiento en el que se produzcan menos de 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Blessett (2021), enfatiza que Seis Sigma se puede aplicar en diversas industrias y sectores, incluyendo manufactura, servicios financieros, salud, telecomunicaciones, y automotriz, entre otros. Se ha popularizado especialmente en empresas grandes donde la precisión y la calidad son críticas. Pyzdek y Keller (2018), opinan que Seis Sigma es una metodología robusta para mejorar la calidad y eficiencia en las organizaciones; la consideran una herramienta esencial para cualquier organización que busque mejorar su desempeño y competitividad. Esto se logra a través de la mejora continua de procesos, productos y servicios. Hernández *et al.* (2018), resaltan como su implementación puede llevar a mejoras significativas en la calidad y rendimiento de una organización.

### 3.1 Modelo DMAIC

Gutiérrez (2020), considera que cada etapa del modelo DMAIC es interdependiente y esencial para el éxito de los proyectos Seis Sigma, enfatizando la necesidad de un enfoque sistemático y basado en datos.

Esta metodología es un enfoque estructurado y sistemático para mejorar procesos existentes y resolver problemas. En la etapa Definir se identifican y se definen claramente los objetivos del proyecto, esto incluiría establecer qué aspectos específicos del proceso son importantes, destaca la importancia de esta etapa para identificar claramente el problema o área de mejora y establecer los objetivos del proyecto. En la etapa Medir, se recopilan datos relevantes sobre el proceso, proporciona una base objetiva para el análisis y es crucial para comprender la magnitud del problema. La etapa Analizar se refiere a que, con los datos recopilados, se realiza un análisis detallado para identificar las causas subyacentes de los problemas o las áreas de mejora en el proceso para identificar las causas raíz. Mejorar es una etapa en la que se desarrollan e implementan soluciones para abordarlos, siendo el objetivo implementar cambios que conduzcan a mejoras significativas en el proceso. Controlar se refiere a establecer medidas para garantizar que las mejoras implementadas se mantengan a lo largo del tiempo.

### 3.2 Tipos de Mantenimiento

González *et al.* (2020) mencionan que existen varios tipos de mantenimiento diseñados para abordar diferentes necesidades y condiciones operativas, que la industria 4.0 requiere para contar con una planta industrial eficiente y efectiva; señalan que el Análisis del Modo y Efecto de la Falla (AMEF) es una buena aplicación para resolver problemas de mantenimiento. Cada tipo de mantenimiento tiene sus ventajas y desafíos, y la elección del método adecuado depende de factores como la criticidad del equipo, los recursos disponibles y los objetivos organizacionales de costo y rendimiento. Peñaloza (2022) argumenta que el mantenimiento correctivo es probablemente el tipo de mantenimiento más fundamental y comúnmente entendido. Este tipo de mantenimiento se refiere a las acciones tomadas para corregir o solucionar problemas con los equipos una vez que estos ya han ocurrido.

Ponteli y Gallará (2020), sugieren que las organizaciones deben esforzarse por reducir su dependencia del mantenimiento correctivo mediante la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo; aunque el mantenimiento correctivo es inevitable, debe ser minimizado tanto como sea posible. Nieto (2022) sugiere que el mantenimiento preventivo debe ser diseñado cuidadosamente para abordar las causas específicas de fallos de equipos, y no simplemente basado en intervalos de tiempo arbitrarios; también indica que el mantenimiento preventivo bien diseñado puede además mejorar la seguridad operativa. Peñaloza (2022) considera que el mantenimiento predictivo es el más eficiente y costo-efectivo a largo plazo, ya que permite intervenciones precisas basadas en el estado real del equipo, minimizando el tiempo de inactividad y los costos de reparación.

El objetivo del mantenimiento proactivo, de acuerdo con Rosales (2022), es cambiar la mentalidad de la organización de una de "reaccionar a los problemas" a una de "prevenir los problemas antes de que ocurran". Hirano (2019), se enfoca en la implementación de las 5S como base para el Mantenimiento Productivo Total (TPM); describe cómo la organización y la limpieza del lugar de trabajo

son fundamentales para el éxito. Opina que, sin un entorno de trabajo bien organizado y limpio, es difícil implementar efectivamente el TPM e incluye el mantenimiento autónomo como parte de los pasos necesarios para implementar Just-In-Time (JIT).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Definir el proyecto

Esta etapa se enfocó en la identificación clara del área de mejora, estableciendo los objetivos y el alcance del proyecto. Esto fue crucial porque aseguró que todos los involucrados tuvieran una comprensión común de los objetivos y expectativas del proyecto. Se identificaron las causas del problema, el alcance que se tuvo y las contramedidas que conllevaron a lograr el objetivo específico en relación con los vehículos del Instituto. Este punto incluye aspectos como la eficiencia del combustible, el mantenimiento y la seguridad de cada vehículo.

#### 4.1.2 Identificación del Problema en el Registro de Combustible de los Vehículos

En esta etapa se recopilaron datos relevantes sobre el proceso actual de gestión de vehículos del INM. Estos datos se utilizan para establecer una línea base y comprender mejor el rendimiento actual del proceso. Se realizó el registro del consumo de combustible a través de una comunicación telefónica, durante la cual se solicita al usuario que proporcione los dígitos de la tarjeta asociada al vehículo. Además, se detecta una deficiencia en el registro diario de esta actividad, lo que demuestra que el sistema de control no está siendo implementado de manera adecuada. Se puede observar que el conteo de gasolina se registró y se tomó en cuenta a partir del día 1 de febrero del presente año. En la siguiente tabla se muestra el rendimiento de combustible de los vehículos del mes de marzo de 2024, donde se le informó al instituto que uno de los vehículos sería enviado fuera de la ciudad para uso exclusivo de traslado de extranjeros a su lugar de origen, por lo que se optó en cancelar su registro de combustible hasta nuevo aviso. En las tablas 2, 3 y 4 se presenta el registro del combustible de los vehículos de los meses de febrero, marzo y abril, respectivamente.

**Tabla 2.** Registro combustible vehículos mes febrero.

		FEBRERO																												
		F							E				C				H				A									
V E H I C U L O	No. de vehículos	01/02/2024	02/02/2024	03/02/2024	04/02/2024	05/02/2024	06/02/2024	07/02/2024	08/02/2024	09/02/2024	10/02/2024	11/02/2024	12/02/2024	13/02/2024	14/02/2024	15/02/2024	16/02/2024	17/02/2024	18/02/2024	19/02/2024	20/02/2024	21/02/2024	22/02/2024	23/02/2024	24/02/2024	25/02/2024	26/02/2024	27/02/2024	28/02/2024	29/02/2024
	VEHICULO1	294	115				294	294	220	224		114	174					99					349	249						
	VEHICULO2	294	178				216	216	118	118		118	118					37					217	121						
	VEHICULO3	294	210				294	294	294	294		294	294					294					150	57						
	VEHICULO4	294	210				294	220	220	220		220	294					294					220	220						
	VEHICULO5	155	72				322	572	547	492		432	220					183					183	147						
	VEHICULO6	67	302				302	552	512	512		452	392					392					402	357						
	VEHICULO7	120	64				64	64	314	209		209	184					131					131	131						
	VEHICULO8	175	175				195	195	195	195		195	195					195					195	195						
	VEHICULO9	210	210				175	95	95	95		95	95					25					205	205						
	VEHICULO10	135	54				135	135	111	111		90	55					31					31	31						
	VEHICULO11	360	254				360	360	360	360		230	230					230					230	230						

**Tabla 3.** Registro combustible vehículos mes de marzo.

		MARZO																																	
		F							E				C				H				A														
V E H I C U L O	No. de vehículos	01/03/2024	02/03/2024	03/03/2024	04/03/2024	05/03/2024	06/03/2024	07/03/2024	08/03/2024	09/03/2024	10/03/2024	11/03/2024	12/03/2024	13/03/2024	14/03/2024	15/03/2024	16/03/2024	17/03/2024	18/03/2024	19/03/2024	20/03/2024	21/03/2024	22/03/2024	23/03/2024	24/03/2024	25/03/2024	26/03/2024	27/03/2024	28/03/2024	29/03/2024					
	VEHICULO 1	294		294		294	294	294	294				294		294	294	294	294					294	294	294	294			294	294	294	294			
	VEHICULO 2	294	294		214	214	214	144					144		73	73	273	273				188	188	135	58			308	308	308	308	235			
	VEHICULO 3	294	224		224	137	137	137					67		250	175	175	82				189	189	189	119			304	214	146	146	146			
	VEHICULO 4	294	294		294	294	294	229					229		229	229	229	229				145	145	145	145			145	80	330	330	330			
	VEHICULO 5	195	52		497	497	451	451					403		323	323	323	323				283	283	283	238			238	203	203	203	203			
	VEHICULO 6	195	65																													314	314	314	314
	VEHICULO 7	195	195		195	195	195	144					144		91	91	341	241				341	341	341	341			314	254	254	254	254			
	VEHICULO 8	195	195		195	195	195	195					195		139	139	139	139				87	87	337	337			264	263	263	263	263			
	VEHICULO 9	240	170		270	270	180	180					305		305	305	193	135				135	135	135	135			65	188	188	143	96			
	VEHICULO 10	195	147		48	228	182	109					527		527	482	482	482				452	343	343	343			188	103	103	103	103			
	VEHICULO 11	360	360		360	360	360	360					278		278	278	278	278				217	217	217	217			157	120	120	120	120			

**Tabla 4.** Registro de combustible en vehículos mes de abril.

		ABRIL																															
		F							E				C				H				A												
V E H I C U L O	No. de vehículos	01/04/2024	02/04/2024	03/04/2024	04/04/2024	05/04/2024	06/04/2024	07/04/2024	08/04/2024	09/04/2024	10/04/2024	11/04/2024	12/04/2024	13/04/2024	14/04/2024	15/04/2024	16/04/2024	17/04/2024	18/04/2024	19/04/2024	20/04/2024	21/04/2024	22/04/2024	23/04/2024	24/04/2024	25/04/2024	26/04/2024	27/04/2024	28/04/2024	29/04/2024			
	VEHICULO 1					294		294	294	294	294	294				294	294	294	294	294				294	294	294	294						
	VEHICULO 2					239		239	239	239	239	114				114	114	114	114	114				14	14	264	514						
	VEHICULO 3					148		0	250	153	153	236				236	236	152	321	321				160	160	160	160						
	VEHICULO 4					294		207	207	207	207	207				207	207	207	207	207				120	120	120	120						
	VEHICULO 5					130		130	130	130	130	90				90	90	90	90	90				50	10	215	465						
	VEHICULO 6					6044		6044	5073	5073	5073	3147				3147	3147	3147	3147	3147				3147	3147	1998	910						
	VEHICULO 7					195		195	195	195	195	59				59	59	9	259	259				259	204	80	80						
	VEHICULO 8					170		170	170	170	72	322				322	322	290	290	290				290	217	168	99						
	VEHICULO 9					101		210	210	135	135	135				135	135	135	135	135				135	135	135	135						
	VEHICULO 10					360		360	285	285	285	205				205	205	145	81	81				8	8	183	433						
	VEHICULO 11					90		90	45	45	45	0				0	0	0	150	150				150	119	119	119						

#### 4.1.3 Identificación del Problema en el Registro de Mantenimiento de los Vehículos

En la identificación de las fallas en el mantenimiento de los vehículos, se detectaron problemas en cuatro de los vehículos del instituto. Estos problemas fueron registrados en el libro de mantenimiento. Sin embargo, se observó que dicho registro carece de parte de

la información requerida para un adecuado seguimiento del mantenimiento, lo cual es un problema para continuar con el debido seguimiento de este registro. A continuación, en la ilustración 1 se muestra el registro de mantenimiento de los vehículos, tomando en cuenta que toda información brindada por el instituto es tomada en cuenta a partir del día 01 de febrero del 2024.



**Figura 1.** Registro de mantenimiento de vehículos

#### 4.1.4 Aspectos Específicos a Mejorar

- Revisión diaria de combustible de los vehículos.
- Identificar la deficiencia en el suministro de combustible.
- Identificar el tiempo de inactividad de los vehículos.
- Minimizar el desperdicio de fondos, así como los costos adicionales que podrían destinarse a otras necesidades operativas o de seguridad del instituto.
- Registro de mantenimiento de los vehículos.
- Reducir la ineficiencia al menos un 5%, mejorando así en su totalidad la optimización de los vehículos.

#### 4.2 Etapa Medir

En esta etapa se determinaron herramientas para la recopilación de información de cada uno de los vehículos. Para llevar a cabo esta recopilación de información se realizaron formatos, que fueron de ayuda para la identificación de errores en los registros de combustible, al igual que en el registro de mantenimiento de los vehículos. A través de la recopilación y análisis de estos datos, se buscó identificar los vehículos que están mejorando su eficiencia operativa, evaluar la disponibilidad y suficiencia del combustible, y determinar el estado operativo de cada vehículo, es decir, si están en uso diario o en resguardo. Esta información permitirá implementar estrategias más efectivas para la gestión de la flota vehicular del instituto.

##### 4.2.1 Formato para Identificación de Errores en el Registro de Combustible y Mantenimiento de los Vehículos

Para la identificación de errores en el registro de combustible fue necesario realizar el siguiente formato, esto con el fin de llevar un control correcto en el rendimiento de cada uno de los vehículos.

**Tabla 5.** Rendimiento del vehículo.

RENDIMIENTO DEL VEHICULO	
Responsable	
Numero de Vehiculo	
Hora de inicio	
Litros con los que cuenta el vehiculo	
Hora de termino	

##### 4.2.2 Formato de Kilometraje de los Vehículos

Para llevar a cabo el siguiente registro, se creó un formato que sirviera como guía para calcular los kilómetros recorridos por cada uno de los vehículos. El objetivo de esta medida es obtener resultados precisos para maximizar el uso del combustible y, de este modo, disminuir el desperdicio de fondos.

##### 4.2.3 Periodo de Recolección de Datos

Considerando que el registro del consumo de gasolina comenzó el 1 de febrero del presente año, se recopiló y analizó la información disponible, aunque estaba incompleta. Así mismo, se realizó un conteo detallado de combustible con el fin de generar e implementar una estimación aproximada del rendimiento de la flota vehicular del instituto. A partir del mes de mayo, se implementó un registro que se completó diariamente. Este registro fue utilizado para llevar a cabo un análisis exhaustivo de los procesos de mejora continua de la flota vehicular del instituto.

##### 4.2.4 Recolección de Datos del Mantenimiento Vehicular

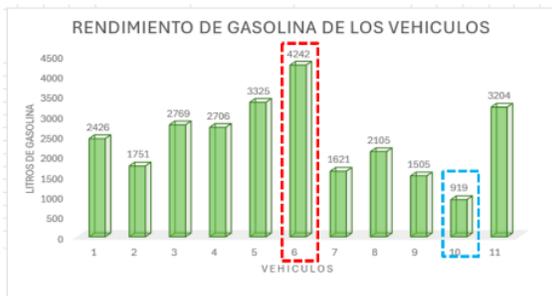
Previamente se mencionó que toda la información proporcionada por el instituto estaba incompleta. Debido a esta carencia de datos y la falta de organización del equipo, se trabajó con la información disponible en ese momento. Ante esta situación, se implementó un sistema de control utilizando la información parcial para mantener un registro organizado del historial de mantenimiento. A partir de mayo, este registro se ha actualizado mensualmente, con el objetivo de llevar un control más preciso y detallado del mantenimiento vehicular.

#### 4.2.5 Información Parcial

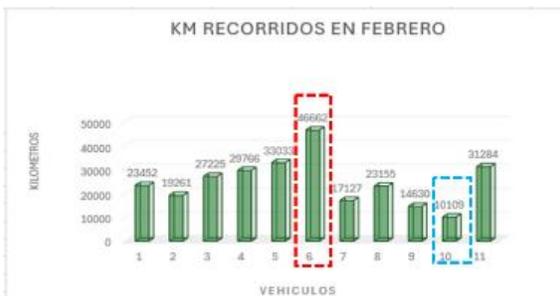
Después de recolectar y organizar adecuadamente los datos, se observó que la mayoría de los errores se concentraron en el mes de febrero. En la gráfica 1, se muestra la deficiencia registrada en el rendimiento vehicular en febrero, así como la notable mejora observada en mayo. En las gráficas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se muestra el rendimiento de combustible, así como el kilometraje de los meses de febrero, marzo y abril. En cada una de las gráficas se muestra que vehículos tuvieron el mayor y menor rendimiento, marcando con línea punteada roja y azul, respectivamente.



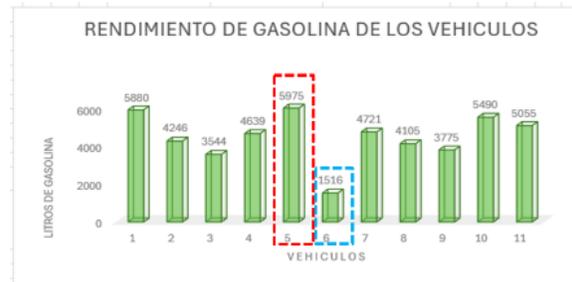
Gráfica 1. Rendimiento vehicular.



Gráfica 2. Rendimiento de gasolina en febrero.



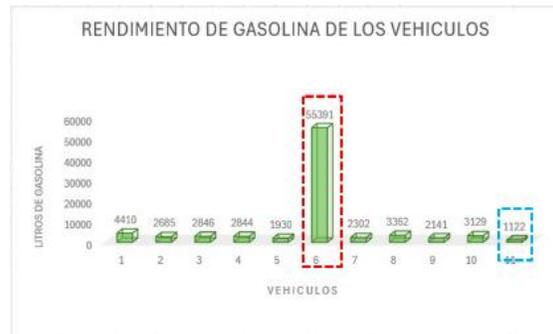
Gráfica 3. Rendimiento del kilometraje en El mes de febrero.



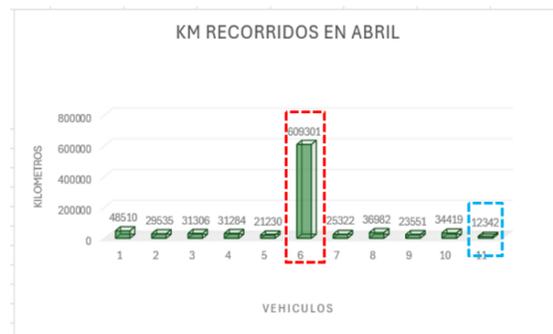
Gráfica 4. Rendimiento de combustible en marzo.



Gráfica 5. Kilometraje recorrido en marzo.



Gráfica 6. Rendimiento de combustible en abril.



Gráfica 7. Rendimiento del kilometraje en el mes de abril.

### 4.3 Etapa Analizar

Tomando en cuenta los registros y las gráficas de rendimiento vehicular se notó que la mayor parte de errores sucedieron debido a la deficiente administración de combustible de los vehículos, así como resguardar vehículos en perfecto estado y hacer uso de otros que consumían más combustible, al igual que la deficiente administración para atender a tiempo el mantenimiento de los vehículos. Debido a todos los errores antes mencionados se realizó el diagrama causa-efecto que se presenta en la figura 1, con el fin de identificar la causa raíz del problema.

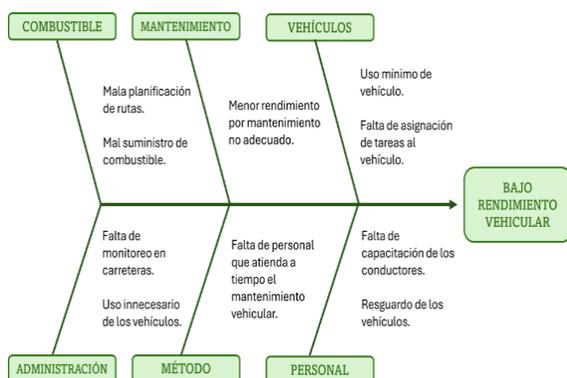


Figura 1. Diagrama de Causa-Efecto.

### 4.4 Etapa Mejorar

Esta fase tuvo como objetivo formular propuestas de mejora destinadas a mitigar los daños que han comprometido el rendimiento de los vehículos durante el período en cuestión. Estas mejoras se fundamentan en un análisis exhaustivo de los datos recopilados y en la identificación de las causas subyacentes de dichos problemas, con el fin de implementar soluciones efectivas y sostenibles.

#### 4.4.1 Soluciones de Mejora en el Área de Rendimiento Vehicular

- Mejoramiento del registro diario de combustible.
- Proporcionar una capacitación adecuada al personal responsable de los vehículos con el fin de mejorar en los cambios implementados y procedimientos actualizados.
- Realizar un registro mensual del kilometraje vehicular.
- Realizar un registro diario de los vehículos que entran y salen del instituto.

#### 4.4.2 Soluciones de Mejora en el Área de Mantenimiento Vehicular

- Mejorar la supervisión en el mantenimiento de los vehículos.
- Identificar los vehículos que se encuentran en resguardo.
- Procurar tener una sola empresa encargada del mantenimiento de los vehículos de la institución.
- Realizar una revisión mensual del mantenimiento a cada uno de los vehículos.

### 4.5 Etapa Controlar

#### 4.5.1 Implementación de Nuevas Puestas de Mejora Vehicular

En esta última etapa, se implementó un nuevo control destinado a optimizar el rendimiento de combustible de los vehículos. Sin descuidar el control de mantenimiento, se decidió llevar un registro renovado y mejorado, con el objetivo de monitorear diariamente los vehículos. Esto permitió mantenerlos en condiciones óptimas y en conformidad con las normativas, asegurando así un funcionamiento más eficiente y confiable.

#### 4.5.2 Bitácora de Uso y Asignación de Combustible

Tomando en cuenta el uso y asignación de combustible y mantenimiento preventivo y/o correctivo de vehículos se implementó un registro detallado que documenta todos los aspectos relacionados con el consumo de combustible y el mantenimiento de la flota de vehículos. Esta bitácora es para asegurar la eficiencia operativa, el control de costos y la prolongación de la vida útil de los vehículos. A continuación, se muestran los componentes típicos de dicha bitácora.

#### 4.5.3 Control de Tickets de Combustible

El control de tickets de combustible es un sistema diseñado para supervisar, registrar y gestionar el consumo de combustible. Este control es fundamental para mantener la eficiencia operativa, reducir costos y evitar fraudes o mal uso de los recursos. Se diseñó un formato para realizar este control. Los componentes del sistema de control de tickets de combustible son: emisión de tickets, registro de información, monitoreo y supervisión, control de presupuestos, reportes y análisis, auditoría y verificación.

#### 4.5.4 Modificación de rutas de vehículos

La modificación de rutas para los vehículos es un proceso crítico en la gestión de flotas, la optimización del transporte y traslado de personal para los diferentes puntos carreteros de verificación migratoria. Este procedimiento se basó en una serie de principios y factores clave que buscan mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar los tiempos de inactividad de los vehículos. Como primer paso en la modificación de rutas se buscó comprender la demanda de traslados del personal de la institución, así como reducir la distancia total recorrida y el tiempo total de viaje. La optimización de la distancia y el tiempo no solo ahorran combustible y reduce el desgaste del vehículo, sino que también reduce el tiempo muerto en las rutas de traslado. A continuación, se muestran las nuevas rutas de traslado de los vehículos:

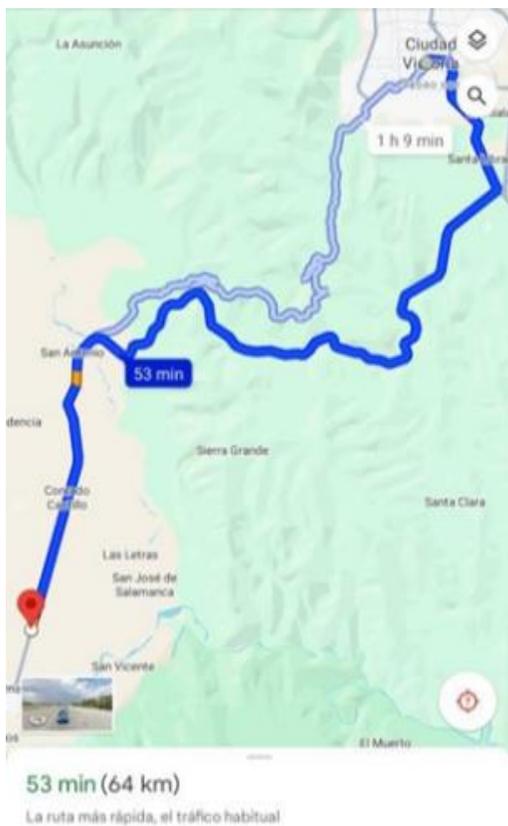


Figura 2. Ruta de traslado a Jaumave

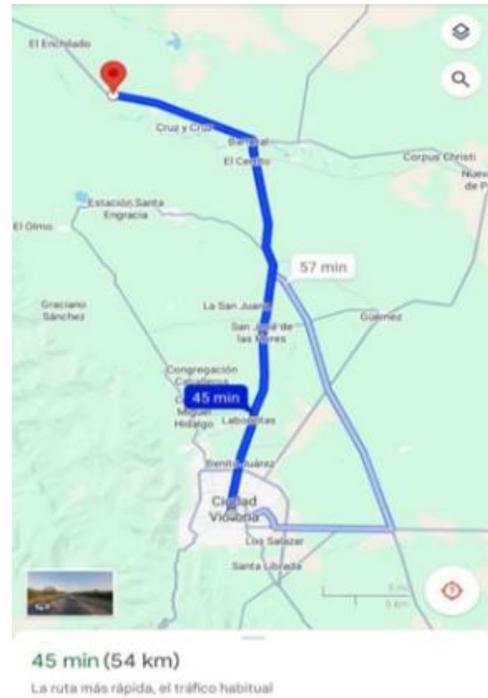


Figura 3. Ruta de traslado Oyama.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultados del Rendimiento de la Flota Vehicular

Tomando en cuenta la deficiencia que se notó en los meses anteriores, en el mes de mayo se implementó una regla en el área para llevar a cabo el registro obligatorio de los vehículos del instituto, lo cual ocasionó una mejoría mayormente efectiva que permitió mantener el control de combustible, generando así una mayor facilidad para continuar con el control adecuado del rendimiento de los vehículos. En la gráfica 8 se muestra como la ineficiencia operativa que se generó los meses anteriores disminuyó, siendo mayo el mes con mayor índice de rendimiento vehicular.



Gráfica 8. Índice de eficiencia en el último mes.

## 5.2 Resultados del Rendimiento Operativo

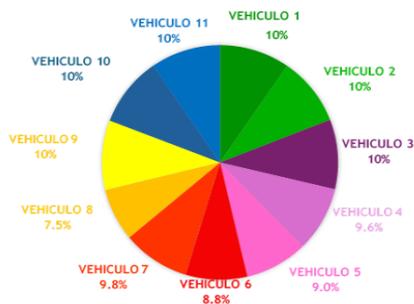
En el mes de mayo se detectó una mejor optimización en los vehículos, disminuyendo así el tiempo muerto de cada una de las unidades, al igual que el desperdicio de tiempo muerto en los traslados de operativo. Como se muestra en la gráfica 9, los vehículos con menos funcionamiento fueron los vehículos 4 y 5, ya que su uso solo fue para traslados de una oficina a otra dentro de la ciudad.



**Gráfica 9.** Rendimiento operativo de los vehículos.

## 5.3 Resultado del Rendimiento Total de los Vehículos

En la gráfica 10 muestra el resultado de la mejora que hubo en los vehículos, solo uno de éstos tiene un rendimiento menor a 8%, 6 vehículos tienen un rendimiento de 10%. Se observa un mejoramiento del 9.5% en promedio en la optimización de los vehículos mediante la metodología DMAIC, cumpliendo así el objetivo establecido.



**Gráfica 10.** Rendimiento total de vehículos.

## 6. DISCUSIÓN

La monitorización continua y el uso de indicadores clave de desempeño permitieron realizar ajustes oportunos y garantizar la sostenibilidad de los beneficios obtenidos. Al analizar los porcentajes de mejoramiento de los vehículos individuales, se destacó que los vehículos identificados con los números 1, 2, 3,

4, 5, 7, 9, 10 y 11 lograron una mejora que oscila entre el 9% y el 10%. Este resultado es particularmente ventajoso, ya que estos vehículos son los más utilizados para el traslado a los distintos puntos de verificación migratoria. Su mejor rendimiento es vital para asegurar la eficiencia operativa en las tareas de control y vigilancia migratoria.

Por otro lado, los vehículos identificados con los números 6 y 8 presentaron un porcentaje de mejoramiento menor que el resto de los vehículos. Este resultado es coherente con su menor frecuencia de uso. Estos vehículos, al pasar la mayor parte del tiempo en resguardo, no requieren un mantenimiento tan frecuente como los vehículos más utilizados. No obstante, su optimización sigue siendo importante para mantener una flota vehicular eficiente y preparada para cualquier eventualidad. Por lo anterior se obtiene un mejoramiento del 9.5% en promedio por vehículo, lo cual se logró con la optimización del mantenimiento de los vehículos mediante la implementación de la metodología DMAIC, cumpliendo así con el objetivo previamente establecido, el cual fue de 5%, lo que fue superado. Se ha logrado identificar que la deficiencia en la administración de los vehículos es debido a la falta de personal que pueda encargarse de una sola área, ya que a la mayor parte del personal se les traslada a los operativos de verificación migratoria produciéndose así el descuido de las áreas administrativas y dándole prioridad a las acciones de verificación migratoria.

Los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en la eficiencia operativa, especialmente en los vehículos que tienen uso más frecuente, y aseguran que se cumplan los objetivos de mantener un transporte seguro, confiable y eficiente para el personal migratorio y los migrantes. La aplicación de Seis Sigma no solo ha mejorado el rendimiento de combustible y el mantenimiento de los vehículos del Instituto, sino que también ha promovido una cultura de mejora continua y eficiencia operativa.

## 7. CONCLUSIÓN

La implementación de Seis Sigma en los vehículos del Instituto Nacional de Migración ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar el rendimiento de los vehículos; a

través de las cinco fases de DMAIC, se logró identificar y eliminar ineficiencias, reduciendo significativamente los costos operativos y mejorando la sostenibilidad del transporte. Por medio de esta implementación se logró encontrar la causa raíz del problema que estaba surgiendo en el instituto, esta metodología fue llevada a cabo debido a que se estaban teniendo fallas en el área de administración de los vehículos. En la fase de definir, se establecieron claramente los objetivos del proyecto, identificando así las necesidades que presentaban los vehículos. Posteriormente, en la fase de medir, se recopilaron datos precisos sobre el consumo de combustible y las frecuencias de mantenimiento, proporcionando una base adecuada para el análisis. Durante la fase de analizar, se identificaron las causas raíz de los problemas de rendimiento y mantenimiento. Este análisis permitió desarrollar soluciones específicas y efectivas, que fueron implementadas en la fase de mejora. Finalmente, en la fase de controlar, se establecieron mecanismos de seguimiento y control para asegurar que las mejoras se mantuvieran a largo plazo.

## 8. LITERATURA CONSULTADA

- Aire, W., Borra, J., Ortiz, E. y Quispe, V. 2021. Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la calidad del servicio de transporte en un operador logístico. Tesis de Maestría Universidad ESAN. Repositorio institucional de la Universidad ESAN. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/2738>
- Blessett, R. 2021. Learn about implementing six sigma: Improve quality and enhance service delivery: Six sigma book. Independently Published.
- Chacón-Cantos, J y Rugel-Kamarova, S. 2018. Artículo de Revisión. Teoría, Modelos y Sistemas de Gestión de Calidad. Revista ESPACIOS. Vol. 39 (No. 50) pp. 14-23
- González-Sosa, V., Jiménez-Díaz, D., Loyo-Quijada, J., López-Ontiveros, M. 2020. AMEF como herramienta de la Industria 4.0 en el mantenimiento. Revista de la Ingeniería Industrial. Vol. 14, No. 1, 2020. ISSN 1940-2163 online. AcademiaJournals.com
- Gutiérrez-Pulido, H. 2020. Calidad y Productividad. Quinta edición. Editorial McGraw-Hill. México
- Hernández, H., Barrios, I., y Martínez, D. 2018. Gestión de la calidad: Elemento clave para el desarrollo de las organizaciones. Revista Criterio libre, 16(18), 180-195.
- Hirano, H. 2019. JIT implementation manual: The complete guide to just-in-time manufacturing, second edition (6-volume set) (2a ed.). Productivity Press.
- Juran, J., Gryna, F., Bingham, R, 2021. Manual de Control de la Calidad. Segunda edición. Edición ebook, Editorial Reverté. ISBN 978-84-291-9270-4 México
- Laisequilla, I. 2023. Todo sobre Lean Six Sigma Pocket: Guía en Español de Bolsillo. Seis Sigma, Lean Manufacturing, White Belts, Yellow Belts, Green Belts, Black Belts, Ingeniería Industrial, DMAIC. Guía Rápida. Independently Published.
- Laoyan, S. 2024. Todo lo que necesitas saber sobre Six Sigma. Asana. <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- Latino, C. J. s/f. Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results.
- Manzano, F. y Avalos, D. 2023. Análisis de calidad de los datos en las estadísticas públicas y privadas, ante la implementación del big data Ciencias Administrativas, núm. 22, 2023 Universidad Nacional de La Plata, Argentina Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=511674246002> DOI: <https://doi.org/10.24215/23143738e119>
- Nieto-Vilardell, E. 2022. Mantenimiento Industrial Práctico. Segunda edición. Fidestec Ediciones.
- Peñaloza, G. 2022. Mantenimiento industrial aplicado. Primera edición. Imaginante editorial. Argentina
- Ponteli, D y Gallará, I. 2020. Mantenimiento Industrial. Primera edición. Publicación digital. Editorial Científica Universitaria.
- Pyzdek, T. y Keller, P. 2018. The six sigma handbook. Quinta edición. McGraw-Hill Education.

Rosales, J. 2022. Blog Fractal One. Los 10 tipos de mantenimiento que debes conocer. [fractal.com/es/blog/tipos-de-mantenimiento](http://fractal.com/es/blog/tipos-de-mantenimiento)

Stanivuk, T., Gvozdenović, T., Žanić Mikuličić, J. y Lukovac, V. 2020. Aplicación del Modelo Six Sigma sobre el Uso Eficiente del Parque Vehicular. *Simetría* 12 (5), 857. <https://doi.org/10.3390/sym12050857>

## ARQUITECTURA DE SOFTWARE BASADA EN MICROSERVICIOS PARA EL DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB DE RUTEO DE VEHÍCULOS

Jesús C. Carmona-Frausto<sup>1</sup>, Luis F. Zurita-González<sup>1</sup>, Adriana Mexicano-Santoyo<sup>1</sup>, Lilia del C. García-Mundo<sup>1\*</sup> & Nelva N. Almanza-Ortega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301 C. P. 87010 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

[jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx), [m21380027@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:m21380027@cdvictoria.tecnm.mx),  
[adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:adriana.ms@cdvictoria.tecnm.mx), [lilia.gm@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:lilia.gm@cdvictoria.tecnm.mx)\*

<sup>2</sup>Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI),  
[nelva.almanza@conahcyt.mx](mailto:nelva.almanza@conahcyt.mx)

**RESUMEN.** El presente artículo propone una arquitectura de software para el desarrollo de una aplicación web de ruteo de vehículos basada en microservicios, además de un marco de trabajo para la construcción dinámica de interfaces de usuario para resolver problemas de ruteo de vehículos, mediante la especificación de parámetros por medio de esquemas basados en el formato JSON. Para corroborar que la arquitectura de software propuesta cumple con los requisitos establecidos, se muestra la interacción entre sus componentes a través de la descripción del flujo de sus procesos. Se concluye que la arquitectura cumple con los requisitos establecidos a la vez que proporciona una mejora en las capacidades de expansión de los componentes de la aplicación, además el marco de trabajo para el modelado de problemas de ruteo reduce significativamente el número de componentes entre el cliente y el servidor.

**PALABRAS CLAVE:** Problema de Ruteo de Vehículos, Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados, Problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos, OpenStreetMap.

**ABSTRACT.** This article proposes software architecture for the development of a vehicle routing web application based on microservices, as well as a framework for the dynamic construction of user interfaces to solve vehicle routing problems, by specifying parameters using schemas based on the JSON Schema format. To corroborate that the proposed software architecture meets the established requirements, the interaction between its components is shown through the description of the flow of its processes. It is concluded that architecture meets the established requirements while providing an improvement in the expansion capabilities of the application components, in addition the framework for modeling routing problems significantly reduces the number of components between the client and the server.

**KEY WORDS:** Vehicle Routing Problem, Capacitated Vehicle Routing Problem, Multiple Depot Vehicle Routing Problem, OpenStreetMap.

### 1. INTRODUCCIÓN

La mantenibilidad y escalabilidad son factores sumamente importantes cuando se decide desarrollar una aplicación, por lo cual el diseño de la arquitectura del software se vuelve un paso crucial en el proceso de desarrollo; la elección de tecnologías, métodos y prácticas adecuadas da como resultado productos de software que son altamente tolerantes a fallos, fácilmente mantenibles y capaces de escalar según las necesidades de los usuarios y del negocio. Una de las arquitecturas de software más populares para satisfacer estas necesidades es la arquitectura de microservicios, la cual es altamente utilizada por grandes empresas como Google,

Facebook, Netflix o Amazon debido a las facilidades que ofrece para agilizar el desarrollo, manejar una gran cantidad de peticiones, aumentar la infraestructura de cómputo y responder eficientemente a las demandas cambiantes del mercado (Contreras *et al.*, 2018). Debido a los beneficios anteriormente mencionados una arquitectura de software basada en microservicios para una aplicación de ruteo de vehículos es necesaria ya que facilita gestionar los recursos del sistema de manera eficiente si la aplicación crece. Actualmente, las arquitecturas propuestas en la literatura para aplicaciones de ruteo de vehículos carecen de la posibilidad de escalar los recursos del sistema eficientemente debido a que están desarrolladas bajo

paradigmas antiguos que no lo permiten. Además, en estas arquitecturas, no se han desarrollado aplicaciones de ruteo con un enfoque multipropósito, es decir, que resuelva diferentes tipos de problemas de ruteo de vehículos. Este enfoque de desarrollo multipropósito trae consigo el reto del incremento entre componentes de la interfaz de usuario y el servidor, ya que, bajo los paradigmas actuales, existe un componente de la interfaz de usuario y un componente del servidor por cada problema de ruteo que se desee incluir en la aplicación. Esto trae consigo un crecimiento mayor en el número de componentes conforme más problemas de ruteo de vehículos sean integrados a la aplicación.

Para afrontar este reto de manera eficiente se propone un marco de trabajo para la construcción del *front-end* de forma dinámica a través de esquemas en formato *JSON* proporcionados por el servidor. Este marco de trabajo permitirá agregar nuevos tipos de problemas de ruteo sin incrementar los componentes del *front-end*. Tomando como base este marco de trabajo, en este artículo se presenta una propuesta de una arquitectura de software para el desarrollo de una aplicación Web de ruteo de vehículos basada en microservicios que resuelve tres problemas, los cuales son:

- Problema de Ruteo de Vehículos (VRP, por sus siglas en inglés). Consiste en encontrar la ruta más corta para visitar un conjunto de clientes con una flota de vehículos.
- Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP, por sus siglas en inglés). Es una extensión del VRP en donde los clientes tienen demandas de producto y los vehículos tienen una capacidad máxima para el producto.
- Problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos (MDVRP, por sus siglas en inglés). Se asemeja al VRP, sin embargo, los vehículos tienen distintos depósitos desde donde se puede empezar la visita de los clientes.

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma, en la Sección 2, se presenta un resumen de evolución de las arquitecturas

de software. En la Sección 3 se muestran diversos trabajos desarrollados que muestran aplicaciones y herramientas para resolver problemas de ruteo de vehículos. En la Sección 4 se detalla la arquitectura de software propuesta. En la Sección 5 se muestra el flujo de los procesos de la aplicación Web. Finalmente, en la Sección 7 se presentan las conclusiones de este trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

Las arquitecturas de software han ido evolucionando a lo largo del tiempo debido a las cambiantes necesidades de las aplicaciones. En las etapas tempranas del desarrollo de software las aplicaciones eran concebidas como una única unidad que involucraba todo el código necesario para ser desplegado en conjunto. A este estilo de arquitectura de software se le denomina arquitectura monolítica. Este enfoque facilita algunos procesos como el desarrollo de la aplicación, la ejecución de pruebas automatizadas y el despliegue de la aplicación (Barrios Contreras, 2018). Sin embargo, este estilo arquitectural puede ser insuficiente para algunas aplicaciones, ya que presenta grandes limitaciones al momento de escalar la aplicación, es decir, para aumentar los recursos de manera eficiente cuando aumenta la carga de trabajo.

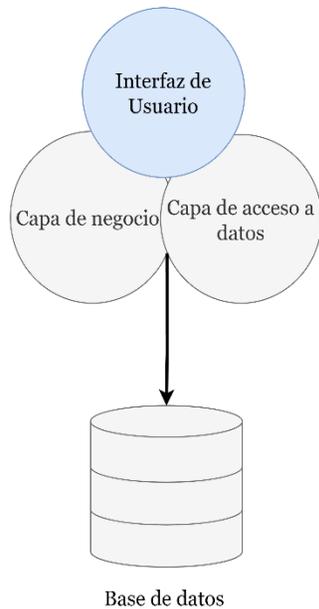
Las aplicaciones que tienen éxito suelen crecer rápidamente, lo que ocasiona que el número de funcionalidades aumente y por consecuencia el tamaño. Esto puede ocasionar demoras en los tiempos de compilación y el aumento de la complejidad de la aplicación, lo cual conduce a tropiezos en el mantenimiento y entendimiento de la aplicación (Barrios Contreras, 2018).

La arquitectura de microservicios es un estilo de arquitectura de software que busca solventar la necesidad de escalabilidad y mantenibilidad de las aplicaciones actuales. A diferencia de la arquitectura monolítica, la arquitectura de microservicios desarrolla todos los componentes del software como pequeñas piezas independientes unas de otras. Este enfoque de independencia entre componentes permite a los microservicios priorizar recursos escasos para los componentes más relevantes. Por ejemplo, los servicios más demandantes pueden ser alojados, con facilidad en servidores más potentes. También posibilita la integración de las tecnologías más adecuadas

para cada servicio, por lo que un servicio puede ser desarrollado en Java, Python, C# o con la tecnología que se requiera. Además, permite aumentar la resiliencia de la aplicación ya que se pueden mantener múltiples instancias de un mismo componente. Esto aumenta la disponibilidad de la aplicación, ya que, en el caso de que un componente fallara, otra instancia del mismo componente podría asumir su funcionalidad de forma automática, garantizando así la continuidad del servicio sin afectar la experiencia del usuario ni comprometer la integridad del sistema. En la

Figura 1 se puede observar la diferencia entre la arquitectura monolítica y la de microservicios. Mientras que, en una aplicación monolítica, los diferentes componentes de la aplicación como la interfaz de usuario, la capa de acceso a datos y la capa de negocios interactúan directamente entre sí dentro de un mismo proceso y espacio de ejecución, en la arquitectura de microservicios se muestra cómo los diferentes componentes de la aplicación son separados en pequeñas partes independientes unas de otras.

#### ARQUITECTURA MONOLÍTICA



#### ARQUITECTURA DE MICROSERVICIOS

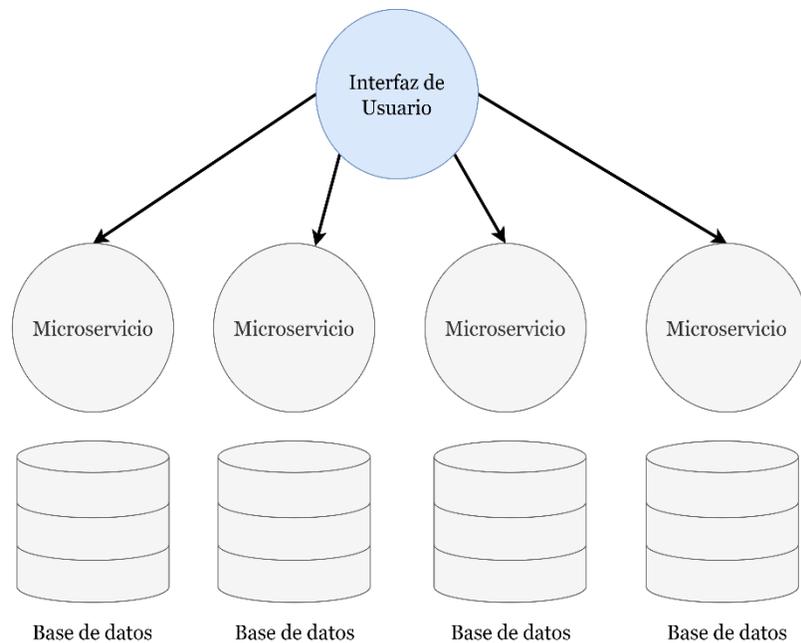


Figura 1. Arquitectura monolítica y de microservicios Barrios (2018).

### 3. TRABAJO RELACIONADO

Existen diversos trabajos en la literatura sobre la implementación de aplicaciones de ruteo de vehículos. En (Nugroho *et al.*, 2021) se presenta el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles para resolver el VRP. La aplicación se ejecuta bajo un sistema operativo Android. Mediante la integración del API de Mapbox y el API de Google Maps, proporciona una ruta óptima. El autor menciona que esta aplicación resulta útil para los mensajeros de marketing y para la planeación de viajes turísticos.

En (Li *et al.*, 2016) se desarrolla una aplicación para resolver el Problema Dinámico de Ruteo de Vehículos (DVRP, por sus siglas en inglés). La aplicación presenta en tiempo real la demanda de los clientes y la información de tráfico para ajustar las rutas de los vehículos. Cada vez que una demanda es atendida, el sistema vuelve a calcular un nuevo plan de rutas. El autor concluye que el sistema ha probado ser eficiente en el ahorro de costos, la mejora de los efectos visuales de la aplicación y el apoyo a la capacidad de expansión del negocio.

En (Alves *et al.*, 2021) se construye una aplicación para resolver el VRP usando una librería de optimización de código abierto llamada Google OR-Tools la cual sirve para resolver problemas de ruteo de vehículos. Además, se integran servicios de Google como Google Maps y la Distance Matrix API. Como arquitectura de sistema se propone una aplicación cliente-servidor en la nube. Los componentes de la arquitectura propuesta son la interfaz de usuario, los microservicios, los servicios externos como la Distance Matrix API y Google OR-Tools.

Además del desarrollo de aplicaciones, existen trabajos relacionados en donde se muestra interés por la creación de herramientas que faciliten este desarrollo. Tal es el caso de (Peng y Murray, 2020) en donde se desarrolla Veroviz, un paquete de herramientas para la visualización de pruebas de problemas de ruteo en ambientes reales. Por otra parte (Errami *et al.*, 2023) desarrollan una librería para el lenguaje Python la cual provee de una interfaz de programación sencilla para resolver diferentes variantes populares del VRP. (Pessoa *et al.*, 2020) también desarrollan una biblioteca en los lenguajes C++ y Julia la cual genera un modelo genérico para resolver problemas de ruteo; debido a la complejidad de implementar algoritmos iguales para diferentes variantes del VRP.

Las aplicaciones de ruteo de vehículos en la literatura no se han estudiado con un enfoque multipropósito, es decir, que tengan la posibilidad de resolver más de un tipo de problema, lo cual representa un área de oportunidad para el estudio de aplicaciones de ruteo multipropósito.

#### **4. ARQUITECTURA DE SOFTWARE PROPUESTA**

La arquitectura de software es una de las partes más importantes del desarrollo de una aplicación. Una buena arquitectura de software permite desarrollar aplicaciones de calidad que sean tolerantes a fallos, fácilmente mantenibles y escalables, estas características son indispensables en aplicaciones modernas donde la carga de trabajo de la aplicación puede crecer en poco tiempo. Como estrategia para añadir estas características, se propone que la aplicación se desarrolle bajo la arquitectura de microservicios. Además, del uso de un marco de trabajo para la

comunicación entre los microservicios encargados de la solución de problemas de ruteo. Como estándar para la transmisión de información entre la aplicación se propone el uso de la arquitectura API REST, la cual es un estilo de arquitectura que define un conjunto de reglas para el intercambio de información en una aplicación mediante el protocolo HTTP, este estilo de arquitectura facilita la identificación y operación de los recursos de una aplicación (Surwase, 2016).

La interfaz de usuario es la parte que permite interactuar a los usuarios con la aplicación, ésta, puede ser desarrollada como una aplicación de escritorio, una aplicación para dispositivos móviles o una aplicación web. Actualmente, el enfoque más usado para desarrollo de interfaces de usuario es a través de la web, ya que este tipo de aplicaciones ofrece ventajas, como la facilidad de obtención, porque solo necesitamos de un navegador para poder usarla. Además, permiten llevar los cambios a los usuarios de manera rápida y que la aplicación sea accesible por medio de diferentes dispositivos. Por estos motivos se decide que la construcción de la interfaz de usuario para esta arquitectura sea una aplicación web.

Para el diseño de una arquitectura, también debemos tener en cuenta los requisitos del software, ya que estos dictan la construcción de todos los servicios disponibles por la aplicación. Los requisitos definidos para la construcción de la presente arquitectura son los siguientes:

1. La aplicación debe permitir al usuario ingresar, proporcionando una dirección de correo electrónico y contraseña.
2. La aplicación debe permitir al usuario registrarse con una dirección de correo electrónico y contraseña, el correo electrónico debe de ser confirmado a través de un mensaje de correo electrónico, para habilitar su uso.
3. La aplicación debe de permitir resolver el VRP. El usuario podrá visualizar un mapa del mundo, donde debe indicar el punto de partida, el número de vehículos de la flota y los puntos de destino a visitar. Una vez ingresados los datos deberá de presionar un botón y las rutas deberán de ser marcadas en pantalla.

4. La aplicación debe de permitir resolver el CVRP. El usuario podrá visualizar un mapa del mundo, donde debe indicar el punto de partida, el número de vehículos de la flota, los puntos de destino a visitar, la demanda de los clientes y la capacidad de la flota. Una vez ingresados los datos deberá de presionar un botón y las rutas deberán de ser marcadas en pantalla.
5. La aplicación debe de permitir resolver el MDVRP. El usuario podrá visualizar un mapa el mundo, donde debe indicar los depósitos disponibles, la capacidad de los depósitos, el número de vehículos por depósito, la capacidad de los vehículos, la ubicación de los clientes a satisfacer y la demanda de los clientes. Una vez ingresados los datos deberá de presionar un botón y las rutas deberán de ser marcadas en pantalla.
6. La aplicación debe permitir guardar, eliminar o editar un problema de ruteo en cualquier momento.

Una vez definidos los requisitos se establecen los diferentes servicios que tendrá la aplicación. La arquitectura propuesta considera 6 microservicios los cuales son descritos en las secciones 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 (servicios: VRP, CVRP y MDVRP).

#### 4.1 Microservicio de usuarios

El microservicio de usuarios es el responsable de mantener la colección de usuarios de la aplicación. Para la estructura de la base de datos de este microservicio se debe tener en cuenta que los usuarios se registran mediante una contraseña y un correo electrónico, además que su cuenta no puede ser usada si no ha sido confirmada. Por lo cual es necesario contemplar los campos "email", para el correo electrónico, "password", para la contraseña y "verified", para indicar si el usuario ha confirmado su cuenta.

Los recursos necesarios para la implementación de este microservicio se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Definición de recursos para la implementación del microservicio de usuarios.

Ruta	Método	Descripción
/users/{email-del-usuario}	GET	A través de esta ruta se pueden obtener los datos almacenados de un usuario, proporcionando su correo electrónico en la url. Esta ruta es privada y está destinada exclusivamente para ser utilizada entre microservicios. Por lo tanto, está protegida por una API key, la cual es un mecanismo popular para autorización de operaciones en aplicaciones.
/users/confirm-account/{email-del-usuario}/{token-de-confirmación}	GET	A través de esta ruta, un usuario puede confirmar su cuenta utilizando el correo electrónico y el token de confirmación de cuenta. Al crear la cuenta, el servicio de usuarios enviará un mensaje de correo electrónico con un enlace para este servicio, después de esta acción la cuenta se confirmará y podrá ser usada.
/users	POST	A través de esta ruta, el cliente puede registrar a un usuario en el sistema. A esta ruta se deberá enviar una petición que contenga el correo electrónico y contraseña, posteriormente se enviará un mensaje de correo electrónico para confirmar la cuenta.
/users/{email-del-usuario}	DELETE	A través de esta ruta, se puede borrar un usuario del sistema. Mediante una petición, con el correo electrónico del usuario, se debe de verificar que el usuario que hace la petición sea el mismo que quiere borrar el correo electrónico mencionado.

#### 4.2 Microservicio de autenticación

La autenticación es una característica obligatoria y sumamente importante en cualquier aplicación que maneje datos sensibles. Mediante la autenticación se debe asegurar la identidad del usuario que interactúa con la aplicación. De esta manera se pueden restringir operaciones que el usuario no está autorizado para realizar.

La autenticación en aplicaciones es frecuentemente implementada a través del uso de *tokens*. Un token es un recurso digital que es obtenido cuando un usuario se autentica en una aplicación. Con éste, el usuario puede validar su identidad con la aplicación para cada acción que realice. La implementación de este sistema en aplicaciones monolíticas es sencilla y práctica debido a la centralización de la aplicación, ya que el servidor siempre tiene a la mano la información del usuario para realizar

cualquier validación que se requiera. En el ámbito de microservicios esto es diferente, debido a que cada parte del sistema es independiente y no tiene un acceso directo a los demás recursos. Los JSON Web Tokens (JWT) (Otko, 2024) se vuelven una buena alternativa para el transporte de información entre microservicios. Un JWT es un estándar de seguridad para la transmisión segura de información, la autenticación y la autorización. Este *token* está conformado por tres partes: el *header*, el cual típicamente incluye el tipo de token y el algoritmo de firma usado, el *payload*, el cual contiene la información de la entidad que se autentica y la *signature*, la cual verifica que los datos contenidos en el *header* y el *payload* no han sido modificados. Este mecanismo es definido para la implementación de la autenticación de la aplicación. Los recursos necesarios para la implementación de este microservicio se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Definición de recursos para la implementación del microservicio de autenticación.

Ruta	Método	Descripción
/auth	GET	Esta ruta permite a los usuarios autenticarse mediante los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enviar una petición con el correo electrónico y contraseña del usuario.</li> <li>2. El microservicio consulta con el servicio Users si los datos proporcionados son válidos.</li> <li>3. Se genera un token, se almacena en la base de datos y se envía al usuario.</li> </ol>
/auth	DELETE	A través de esta ruta el cliente podrá desautenticarse a través de los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enviar una petición con el <i>token</i> de sesión.</li> <li>2. El microservicio borra de su base de datos el token de sesión.</li> <li>3. Se envía una respuesta al cliente si la operación fue exitosa.</li> </ol>
/auth/session	GET	A través de esta ruta los demás microservicios podrán consultar si un usuario se encuentra autenticado a través de una petición que proporcione el token de acceso. Esta ruta es privada y exclusiva para su uso entre microservicios y estará protegida con un API key, el cual es un mecanismo para la autorización de uso de servicios en una API.

#### 4.3 Microservicio de problemas de ruteo

El microservicio de problemas de ruteo es el responsable de almacenar la colección de los problemas guardados por los usuarios. Debido a la variedad de problemas que la aplicación debe de manejar, se recomienda guardar la

información en formatos que no dicten una estructura rígida, como formatos JSON contenidos en un valor en el caso de gestores SQL o en su defecto usar bases de datos basadas en documentos. Los recursos necesarios para la implementación de este microservicio se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Definición de recursos para la implementación del microservicio de problemas de ruteo.

Ruta	Método	Descripción
/routing-problems	GET	A través de esta acción el cliente podrá listar los problemas de ruteo guardados.
/routing-problems/{identificador-del-problema-de-ruteo}	GET	A través de esta acción el cliente podrá obtener un problema de ruteo específico.
/routing-problems	POST	A través de esta acción el cliente podrá publicar un problema de ruteo.
/routing-problems	PUT	A través de esta acción el cliente podrá modificar la información de un problema de ruteo.
/routing-problems/{id-del-problema-de-ruteo}	DELETE	A través de esta acción el cliente podrá borrar un problema de ruteo guardado proporcionando el identificador mediante la url.

#### 4.4 Microservicios de resolución de problemas de ruteo: VRP, CVRP y MDVRP

Los microservicios de resolución de problemas de ruteo se refieren a los microservicios que solucionan los problemas de ruteo VRP, CVRP

y MDVRP. Estos servicios son la esencia de la aplicación porque cumplen el propósito principal de resolver problemas de ruteo. Los recursos necesarios para implementar cualquier servicio de este tipo se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Definición de recursos para la implementación del servicio de resolución de problemas de ruteo.

Ruta	Método	Descripción
/	GET	Mediante esta acción el cliente puede obtener la definición del problema de ruteo solicitado, el cual será proporcionado a través de un esquema JSON
/	POST	Mediante esta acción el cliente puede resolver un problema de ruteo a través del envío de información solicitada mediante el esquema. El servicio debe de leer los parámetros enviados y consultar con el servicio de información geográfica los datos necesarios para devolver el orden correcto de las rutas.

Para este tipo de servicios solo se pueden realizar las dos posibles acciones que se muestran en la Tabla 4. La acción del método GET está relacionada con la definición de un problema de ruteo, que incluye todos los posibles parámetros y configuraciones que deben de ser especificados para su resolución. Por ejemplo, para la resolución del VRP, los parámetros necesarios son el número de vehículos de la flota, el punto de inicio y los clientes a satisfacer. Este marco de trabajo propuesto permitirá a la aplicación del cliente mostrar los componentes necesarios para introducir los datos para resolver el problema

en cuestión. Bajo marcos de trabajo tradicionales, la creación de nuevos servicios resultaría en una gran cantidad de componentes de la aplicación del cliente y del servidor, es decir, se tendrían  $n$  número de servicios de resolución de problemas de ruteo y  $n$  pantallas para la captura de datos. Mientras que, bajo este marco de trabajo propuesto, los componentes del cliente se pueden reducir a un solo componente que interprete la definición del esquema; el cual contiene la definición del problema de ruteo. Con lo anterior, si queremos agregar un nuevo problema a la aplicación no es necesario crear otro componente de interfaz,

únicamente se agregaría un microservicio. Además, esta novedad permite agregar nuevos datos con relativa facilidad y ayuda a la formulación de nuevos problemas de ruteo, debido a que el problema se formula solamente desde el servidor, ahorrando esfuerzo en la

creación de nuevas pantallas. En la Figura 2 se muestra la definición del VRP, mediante la utilización de un esquema basado en el estándar JSON Schema, el cual define un conjunto de características para la especificación de documentos.

```
{
  "title": "Problema de Ruteo de Vehículos",
  "description": "El problema de ruteo de vehículos (VRP) es un problema de optimización combinatoria donde el objetivo es determinar las rutas más eficientes para que una flota de vehículos entregue bienes o servicios a un conjunto de clientes, comenzando y terminando en un depósito central. El objetivo es minimizar el costo total, como la distancia recorrida, el tiempo o el consumo de combustible, y al mismo tiempo satisfacer limitaciones como la capacidad del vehículo, los plazos de entrega y la demanda de los clientes.",
  "locationTypes": [
    {
      "key": "start",
      "title": "Depósito",
      "description": "La localización desde donde parte la flota de vehículos.",
      "max": 1,
      "min": 1,
      "props": [
        {
          "key": "number_of_vehicles",
          "type": "integer",
          "min": 1,
          "required": true,
          "title": "Tamaño de la flota de vehículos",
          "description": "El número de vehículos de la flota"
        }
      ]
    },
    {
      "key": "client",
      "title": "Cliente",
      "description": "Los destinos a visitar por la flota de vehículos.",
      "min": 1
    }
  ],
  "settings": []
}
```

**Figura 2.** Definición de los parámetros del VRP mediante un esquema.

Los parámetros de un problema de ruteo se pueden englobar dentro de dos grandes grupos, las configuraciones y las localizaciones. Las configuraciones, denotadas como "settings" en la Figura 2, se refieren a las configuraciones generales para la resolución del problema que se esté abordando. Dentro de ellas se pueden especificar aspectos como, la capacidad de los vehículos de la flota de vehículos (en caso de que la capacidad de la flota sea uniforme, esto puede variar según el problema), el tiempo máximo de búsqueda, el algoritmo a implementar, entre otras configuraciones. Las localizaciones, denotadas como "locations", en la Figura 2, representan los puntos de un problema de ruteo, sean clientes, puntos de partida, puntos de fin, depósitos, entre otras cosas. Este marco de

trabajo ofrece flexibilidad en la implementación, ya que los esquemas permiten definir múltiples datos y validaciones.

#### 4.5 Selección de tecnologías

En este apartado hablaremos de las tecnologías usadas para la implementación de la arquitectura propuesta. La selección de tecnologías puede ser un tema complejo de abordar debido a la amplia gama de tecnologías disponibles que se tienen en la actualidad. En las secciones 4.1, 4.2 y 4.3 se habla de la estructura y recursos que deben tener los microservicios de la arquitectura. Estos microservicios se pueden implementar con diferentes tecnologías, dependiendo de la naturaleza del proyecto, el equipo con el que se cuente y los recursos disponibles en general.

Actualmente en el mundo del desarrollo web existen diferentes tecnologías disponibles para el desarrollo de interfaces. Para la construcción de la interfaz de usuario, se eligió la tecnología React (React, 2024) debido a las ventajas que ofrece, ya que:

- Mejora el rendimiento de la aplicación.
- Permite, la creación de componentes reutilizables.
- Ofrece, una gran cantidad de documentación, bibliotecas y soporte por parte de la comunidad.
- Es capaz de afrontar los retos de desarrollar una interfaz compleja.

Para la implementación de microservicios también existen diferentes tecnologías. Se eligió Fastapi por las ventajas y características que ofrece, ya que:

- Proporciona un alto rendimiento.
- Mejora en la velocidad de implementación.
- Genera documentación automática.

En la arquitectura propuesta, hay 4 microservicios que necesitan de una base de datos para el almacenamiento de información. Para el microservicio de usuarios y el microservicio de problemas de ruteo, se va a usar una base de datos MongoDB. Esta base de datos está basada en documentos y permite almacenar datos no estructurados. Se eligió MongoDB por las ventajas que ofrece:

- Mayor velocidad respecto a otras tecnologías.
- Facilita el desarrollo y modificación de la aplicación ya que no se tiene que alterar el esquema establecido para agregar nuevos campos.

Para el servicio de autenticación, se va a usar una base de datos Redis. La cual es una base de datos veloz que almacena los datos en formatos clave-valor. Esto es conveniente debido a que el sistema de autenticación solo guardará los tokens de sesión, por lo que no requiere de un sistema gestor demasiado robusto.

Un software para la solución de problemas de ruteo necesita de información confiable y en tiempo real para la formulación y resolución de

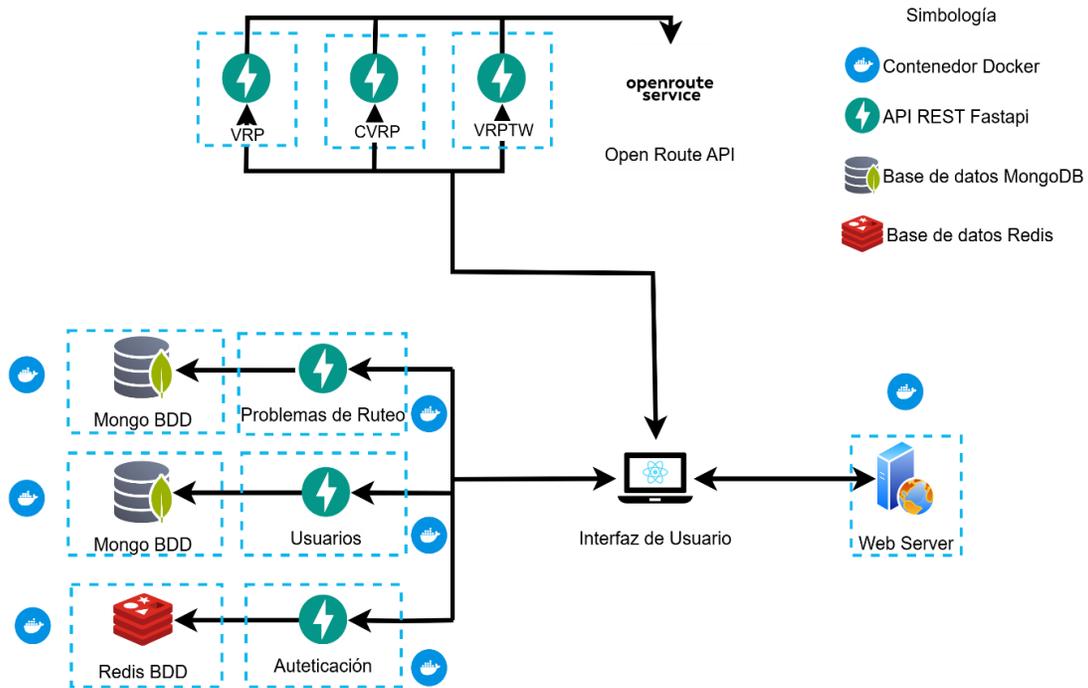
estos problemas. Una alternativa para esta necesidad es el servicio de Open Route Service (Openrouteservice, 2024), el cual provee de una serie de APIs para el cálculo de distancias entre ubicaciones. Existen otros servicios para solventar esta necesidad, sin embargo, se optó por Open Route Service por ser un servicio confiable y totalmente gratis.

Uno de los retos que presenta una aplicación basada en la arquitectura de microservicios es el manejo de la diversidad de tecnología, ya que diferentes servicios pueden requerir de diferentes versiones del lenguaje o tecnologías y esto puede ocasionar errores al momento del despliegue de las aplicaciones. Docker es una tecnología para la administración de contenedores, un contenedor es una pieza aislada de software que permite ejecutar aplicaciones sin tener conflictos de requerimientos entre ellas. Esta tecnología es elegida con el objetivo de separar la implementación de los microservicios.

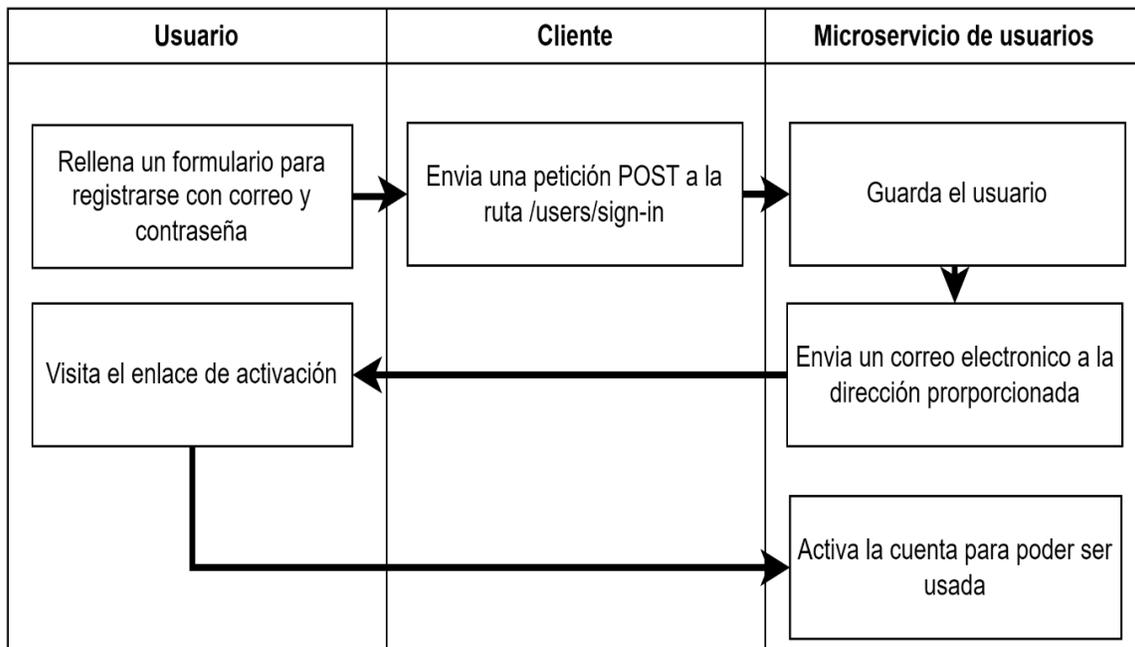
En la Figura 3 se puede observar el resultado de la definición de los componentes y tecnologías dentro de ella se encuentran los microservicios de resolución de problemas de ruteo (VRP, CVRP y MDVRP), el microservicio de usuarios (Users) y el microservicio de autenticación (Auth), así como sus respectivas bases de datos. También se muestra el servidor web de la aplicación (Web Server) y el servicio de información geográfica Open Route (Open Route API) (Openrouteservice, 2024).

## **5. FLUJO DE LOS PROCESOS DE LA APLICACIÓN**

En esta sección se detallan los procesos de interacción entre el cliente (aplicación web de react), el usuario y los microservicios, lo cual sirve para demostrar que la arquitectura puede ser implementada y está alineada a los requisitos previamente establecidos. El primer paso para comenzar a usar la aplicación es el proceso de registro de usuario. En este proceso el usuario llena los datos de registro a través de la interfaz de usuario (Cliente), posteriormente se envía la solicitud al servidor y el servidor envía un mensaje de correo electrónico para activar la cuenta al usuario, después el usuario visita el enlace contenido en el correo y finalmente el servidor confirma la cuenta para poder ser utilizada. Este proceso se puede observar en la Figura 4.



**Figura 3.** Diagrama de la arquitectura de software. Los logos Redis (2025), React (2024), Docker (2025), FastAPI (2025) y Openrouteservice (2025) mostrados son propiedad de sus respectivos dueños. Se utilizan con fines exclusivamente académicos y sin fines comerciales, el resto de las imágenes son de elaboración propia.



**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de registro de usuarios.

Después de la creación y confirmación de la cuenta, el usuario debe autenticarse para poder usar la aplicación, ya que ningún usuario sin cuenta tiene permitido su uso. Primero el usuario debe llenar el formulario de inicio de sesión, después el microservicio de autenticación consulta con el microservicio de

usuarios los datos del usuario, posteriormente comprueba las credenciales enviadas, genera y guarda el token de acceso y lo envía al usuario, finalmente el usuario guarda el token para poder autenticarse con los otros microservicios. El proceso de autenticación se muestra en la Figura 5.

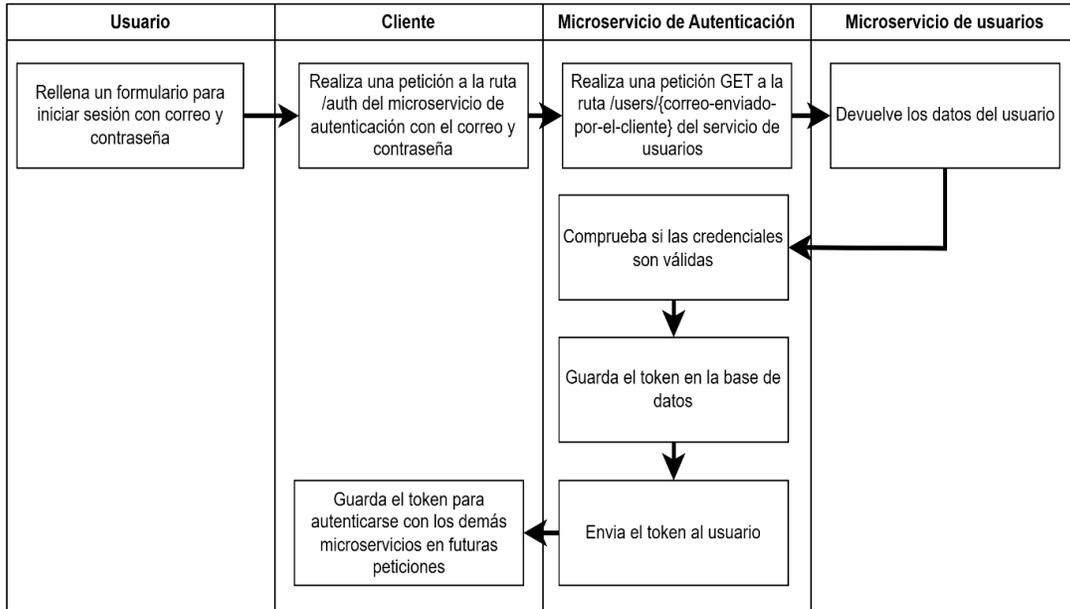


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de autenticación de usuario.

Bajo este modelo de autenticación, los demás microservicios deberán de consultar el microservicio de autenticación para corroborar la identidad del usuario que realiza la petición,

el microservicio responderá si el token es válido y continuará con la petición. El comportamiento de los microservicios para la autenticación se muestra en la Figura 6.

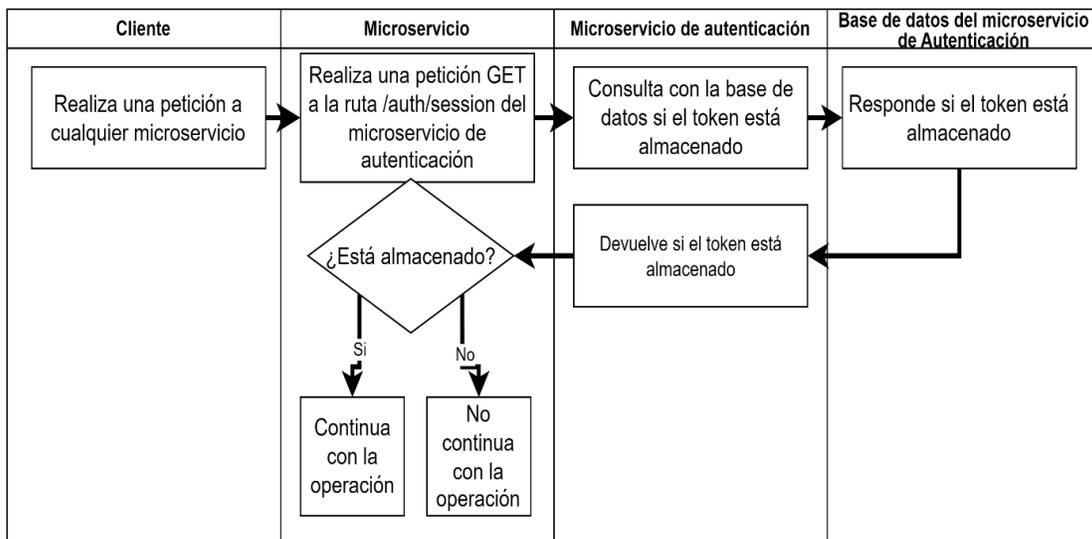
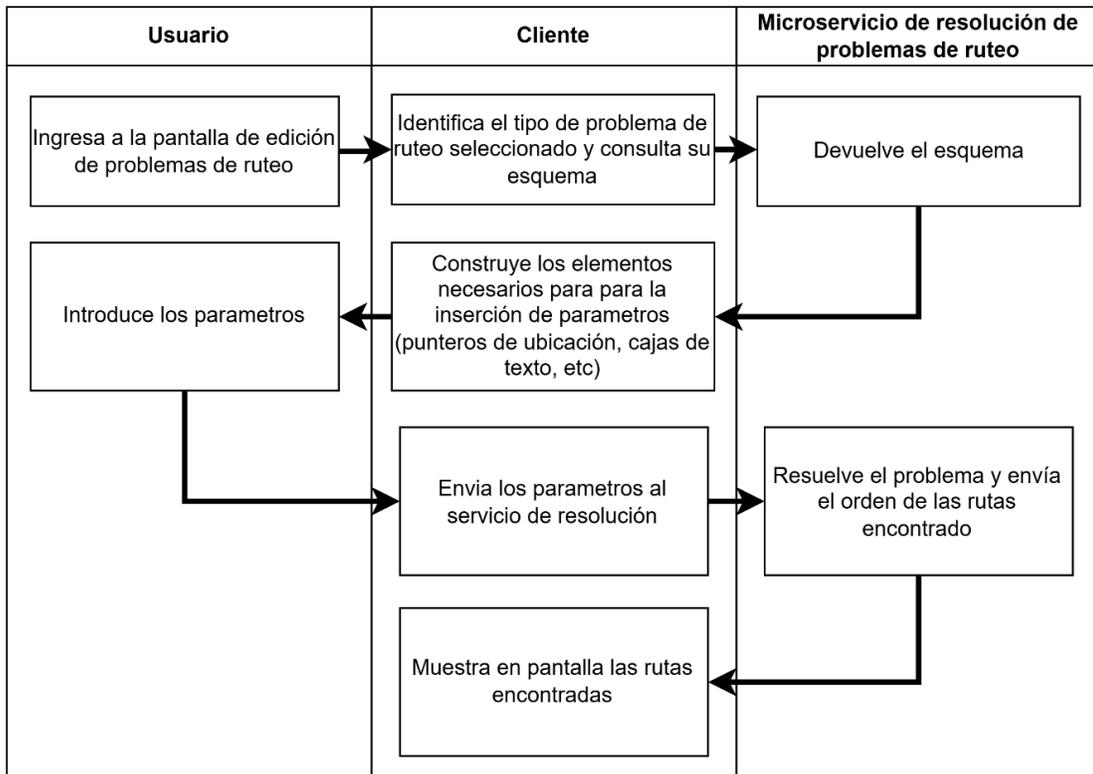


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de autenticación en microservicios.

Además de validar la información del token recibida por el servicio de autenticación, los microservicios deben de implementar sus propias reglas de seguridad, ya que este método solo permite validar la información del solicitante. Por ejemplo, el microservicio de usuarios solo debe permitir borrar, eliminar y editar los datos del usuario que los solicita, no de los demás. Esto también sucede con el servicio de problemas de ruteo, ya que solo el usuario dueño de los problemas debe de poder eliminar, editar y crear problemas de ruteo en su colección.

como guardarlos para su futura consulta, eliminarlos o editarlos. Dentro del proceso de modelado de un problema de ruteo intervienen varios procesos como la construcción de la interfaz, primeramente, el usuario debe de ingresar a la pantalla de edición de problemas de ruteo, después la aplicación identifica el tipo de problema seleccionado, consulta el esquema y construye los elementos de la interfaz de usuario, posteriormente el usuario ingresa los parámetros y finalmente se muestra en pantalla el orden de recorrido de las rutas. Este proceso se puede observar en la Figura 7.

Finalmente, el usuario podrá usar la aplicación, permitiéndole formular problemas de ruteo, así



**Figura 7.** Diagrama de flujo del proceso de resolución un problema de ruteo mediante la aplicación.

## 6. CONCLUSIONES

En este artículo se ha propuesto una arquitectura de microservicios para una aplicación de ruteo de vehículos. Esta arquitectura sirve como base para la implementación de aplicaciones web que tengan una alta demanda y requieran soportar una gran cantidad de usuarios. El diseño basado en microservicios mejora la escalabilidad y mantenibilidad del producto. Además, el marco de trabajo propuesto para la creación de nuevos microservicios de resolución de problemas de ruteo de vehículos es una nueva estrategia para manejar el crecimiento de componentes de la interfaz de usuario, la cual facilita la implementación de nuevos microservicios de resolución de problemas de ruteo de vehículos mediante la construcción de los elementos de la interfaz mediante esquemas proporcionados por el servidor.

## 7. LITERATURA CITADA

- Alves F., Pacheco F., Rocha A. M., Pereira A. I. y Leitão P. 2021. Solving a Logistics System for Vehicle Routing Problem Using an Open-Source Tool. *Computational Science and Its Applications*, 12953: 397-412.
- Barrios D. A. 2018. Arquitectura de Microservicios. *Revista Tecnología Investigación y Academia*. 6(1): 37-46.
- Docker, Inc. (9 de abril de 2025). *Docker: Empowering developers to build and run applications anywhere*. Obtenido de <https://www.docker.com/>
- Errami N., Queiroga E., Sadykov R. y Uchoa E. 2023. *VRPSolverEasy: a Python library for the exact solution of a rich vehicle routing problem*. *INFORMS Journal on Computing*, 36(4): 956-965.
- FastAPI (9 de abril de 2025). Obtenido de <https://fastapi.tiangolo.com/>
- Li R., Qi M., Cheng C. y Lai W. 2016. Design of Dynamic Vehicle Routing System Based on Online Map Service. *13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*. 1: 1-5.
- Nugroho A., Izzah A. y Eliyen K. 2021. Mobile Application Development to Solve Vehicle Routing Problems in Marketing or Tour Trip Planning. *Jurnal RESTI Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, 5(2): 27-33.
- Openrouteservice. (2025). *OpenRouteService* [API de código abierto]. Heidelberg Institute for Geoinformation Technology. <https://openrouteservice.org/>
- Peng L., y Murray C. 2020. VeRoViz: A Vehicle Routing Visualization Toolkit. *INFORMS*, 34(4): 1841-2382.
- Pessoa A., Sadykov R., Uchoa E. y Vanderbeck F. 2020. A generic exact solver for vehicle routing and related problems. *Mathematical Programming*, 183: 483-523.
- React. (9 de mayo de 2024). Obtenido de <https://react.dev>
- Redis. (9 de abril de 2025). *Redis: A powerful in-memory data structure store*. Obtenido de <https://redis.io/>
- Surwase V. (2016). REST API Modeling Languages - A Developer's Perspective. *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering*. 2: 634-63.

## ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DEL ÁLGEBRA LINEAL CON APOYO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PSEINT

María P. Ramírez-Gil, María R. Ortiz-Medina, Dora E. Doria-Gallegos, José A. Nieto-Meza & Lilia C. García-Mundo\*

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil, No. 1301, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

[maria.rg1@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:maria.rg1@cdvictoria.tecnm.mx), [maria.om@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:maria.om@cdvictoria.tecnm.mx), [dora.dg@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dora.dg@cdvictoria.tecnm.mx), [jose.nm@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:jose.nm@cdvictoria.tecnm.mx), [lilia.gm@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:lilia.gm@cdvictoria.tecnm.mx)\*

**RESUMEN:** En este trabajo se presentan los resultados de una investigación cuyo objetivo fue evaluar el rendimiento académico de los estudiantes que usaron la herramienta computacional PSEInt, como estrategia didáctica para mejorar su desempeño en el curso de Álgebra Lineal. Se realizó una investigación cuantitativa a través de la medición numérica para comparar el promedio de aprovechamiento del grupo de control y del grupo experimental. Los resultados obtenidos en la investigación mostraron que, al usar PSEInt, el promedio de aprovechamiento del grupo de control fue de 62.11 y del grupo experimental fue de 62.23. Estos resultados indican que, aunque el uso de PSEInt ayuda a los estudiantes a realizar de forma más rápida los procedimientos matemáticos para resolver problemas, no se encontró una diferencia significativa del promedio de aprovechamiento entre los grupos seleccionados. Sin embargo, aprender a usar una herramienta computacional permite a los estudiantes desarrollar habilidades en el manejo de tecnología, desarrollar el pensamiento algorítmico, así como ampliar sus conocimientos en otras áreas.

**PALABRAS CLAVE:** rendimiento académico, estrategia didáctica, pensamiento algorítmico.

**ABSTRACT:** This work presents the results of research whose objective was to evaluate the academic performance of students who used the computational tool PSEInt, as a teaching strategy to improve their performance in the Linear Algebra course. A quantitative investigation was carried out through numerical measurement to compare the average achievement of the control group and the experimental group. The results obtained in the research showed that, when using PSEInt, the average achievement of the control group was 62.11 and the experimental group was 62.23. These results indicate that, although the use of PSEInt helps students to perform mathematical procedures more quickly to solve problems, no significant difference was found in the average achievement between the selected groups. However, learning to use a computer tool allows students to develop skills in handling technology, develop algorithmic thinking, as well as expand their knowledge in other areas.

**KEY WORDS:** average achievement, teaching strategy, algorithmic thinking.

### 1. INTRODUCCIÓN

El Álgebra lineal es una de las ramas de las Matemáticas que se ocupa del estudio de los sistemas de ecuaciones lineales y de las transformaciones lineales. Esta disciplina se ha convertido en una herramienta fundamental en la ingeniería moderna debido a su capacidad para modelar, analizar y resolver problemas complejos en una amplia variedad de campos (Castro *et al.*, 2023).

Uzuriaga y Arias (2006), refieren que el Álgebra Lineal es uno de los pilares fundamentales de ingeniería, por la gran variedad de situaciones problemáticas que se resuelven con la herramienta que esta aporta. Una de las

aplicaciones del Álgebra Lineal para el caso de Ingeniería Mecánica es la modelización y análisis de sistemas mecánicos. Por ejemplo, se puede utilizar el álgebra lineal para analizar la vibración de una estructura mecánica o para resolver problemas de estática y dinámica de cuerpos rígidos.

En la asignatura de Álgebra Lineal de las carreras de Ingeniería Civil (IC) e Ingeniería en Mecánica (IMEC), del Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Ciudad Victoria (IT-Victoria), los estudiantes tienen dificultades para resolver ejercicios de problemas lineales porque requieren de la realización manual de varios cálculos matemáticos que generan tedio y desmotivación en ellos. Esto nos motivó a

considerar la posibilidad de utilizar una herramienta computacional de apoyo para realizar de forma automática estos cálculos.

El software PSeInt es eficaz como herramienta para el aprendizaje en temas relacionados al pensamiento computacional en estudiantes universitarios (Basilio *et al.*, 2022). Esta herramienta ha sido usada en varios estudios que han demostrado su efectividad. En un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2018), se encontró que el uso de PSeInt influyó en el incremento del porcentaje de aprobación de los estudiantes, de hasta un 80%, de la asignatura de Algoritmos y Programación. En el estudio realizado por Basilio *et al.* (2022) se demostró que la aplicación del software PSeInt influye positivamente en el aprendizaje del pensamiento computacional.

Por lo anterior, se tomó la decisión de usar PSeInt como herramienta de apoyo para realizar prácticas, sobre los temas vistos en Álgebra Lineal, como resolución de ejercicios con operaciones con números complejos, matrices y sistemas de ecuaciones lineales. En este trabajo se presentan los resultados de una investigación que se realizó en el Instituto Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Cd. Victoria, con estudiantes, que cursaban la asignatura de Álgebra Lineal en los programas de Ingeniería Mecánica (IMEC) y de Ingeniería Civil (IC), la cual tuvo por objetivo evaluar el rendimiento académico de los estudiantes que usaron la herramienta computacional PSeInt como estrategia didáctica para mejorar su desempeño.

El resto de este trabajo está organizado de la siguiente forma. La sección 2 describe la herramienta PSeInt, la sección 3 presenta trabajos relacionados con el uso de PSeInt como apoyo en la enseñanza en diversas áreas. En la sección 4 se describe la metodología que se siguió en la presente investigación. La sección 5 muestra los resultados obtenidos. Por último, las conclusiones de este trabajo se presentan en la sección 6.

## 2. HERRAMIENTA PSEINT

PSeInt es una herramienta didáctica desarrollada por Pablo Novara en 2013. Su propósito es asistir a un estudiante en sus

primeros pasos en programación. Mediante un simple e intuitivo pseudolenguaje en español (complementado con un editor de diagramas de flujo), le permite centrar su atención en los conceptos fundamentales de la algoritmia computacional, minimizando las dificultades propias de un lenguaje y proporcionando un entorno de trabajo con numerosas ayudas y recursos didácticos. El PSeInt facilita la tarea de escribir algoritmos mediante un pseudolenguaje, presentando un conjunto de ayudas y asistencias, y brindando además algunas herramientas adicionales que ayudan a encontrar errores y comprender la lógica de los algoritmos. Permite crear un pseudocódigo que se suele utilizar como primer contacto para introducir conceptos básicos como el uso de estructuras de control, expresiones, variables, etc., sin tener que lidiar con las particularidades de la sintaxis de un lenguaje real (Novara, 2016).

### 2.1. Características y Funcionalidades de PSeInt:

- Presenta herramientas de edición para escribir algoritmos en pseudocódigo en español.
- Permite generar y editar el diagrama de flujo del algoritmo.
- Permite la edición simultánea de múltiples algoritmos.
- El pseudo-lenguaje utilizado es configurable.
- Puede interpretar (ejecutar) los algoritmos escritos.
- Determina y marca claramente los errores.
- Permite convertir el algoritmo de pseudocódigo a código numerosos lenguajes de programación.
- Ofrece un sistema de ayuda integrado acerca del pseudocódigo y el uso del programa.
- Es multiplataforma (probado en Microsoft Windows, GNU/Linux y Mac OS X).
- Es totalmente libre y gratuito (licencia GPL).

PSeInt le ayuda a escribir algoritmos utilizando un pseudo-lenguaje simple, intuitivo y en español (ver Figura 1). El objetivo es permitir al estudiante centrar la atención en los conceptos fundamentales que debe aprender, sin perder tiempo en los detalles de un lenguaje o del uso de un intérprete o compilador.

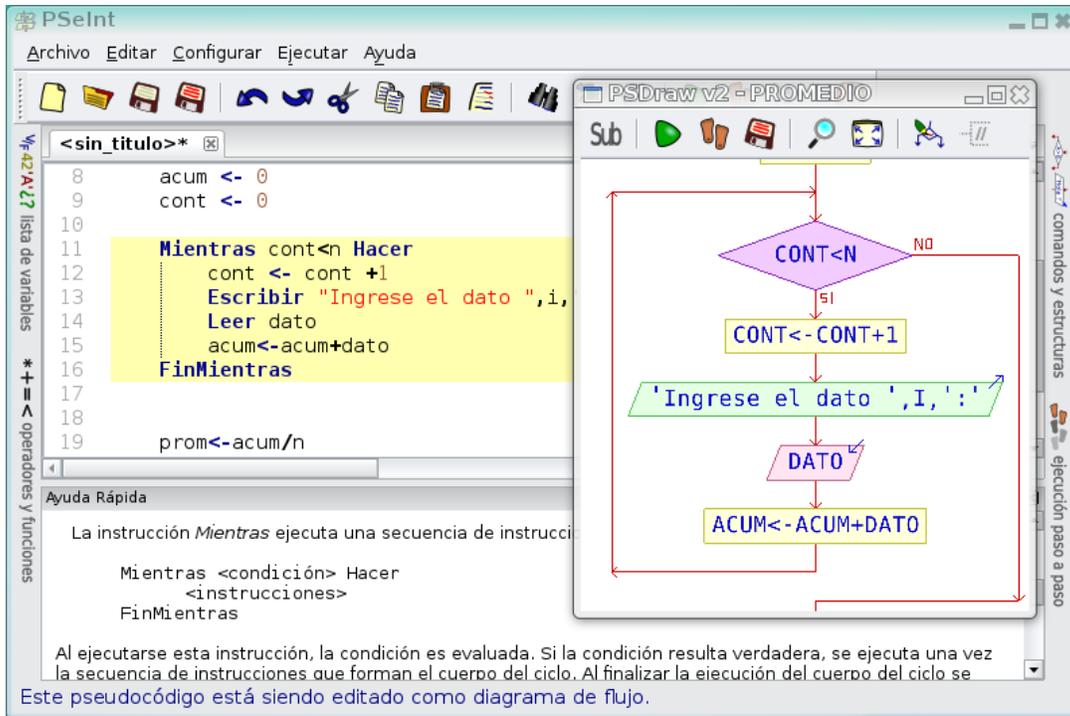


Figura 1. Entorno de PSeInt (Fuente: Novara, 2016).

Puede ejecutar el algoritmo paso por paso (prueba de escritorio) para ver qué instrucciones se ejecutan y en qué orden, y observar cómo cambian los contenidos de las variables de un programa (Figura 2).

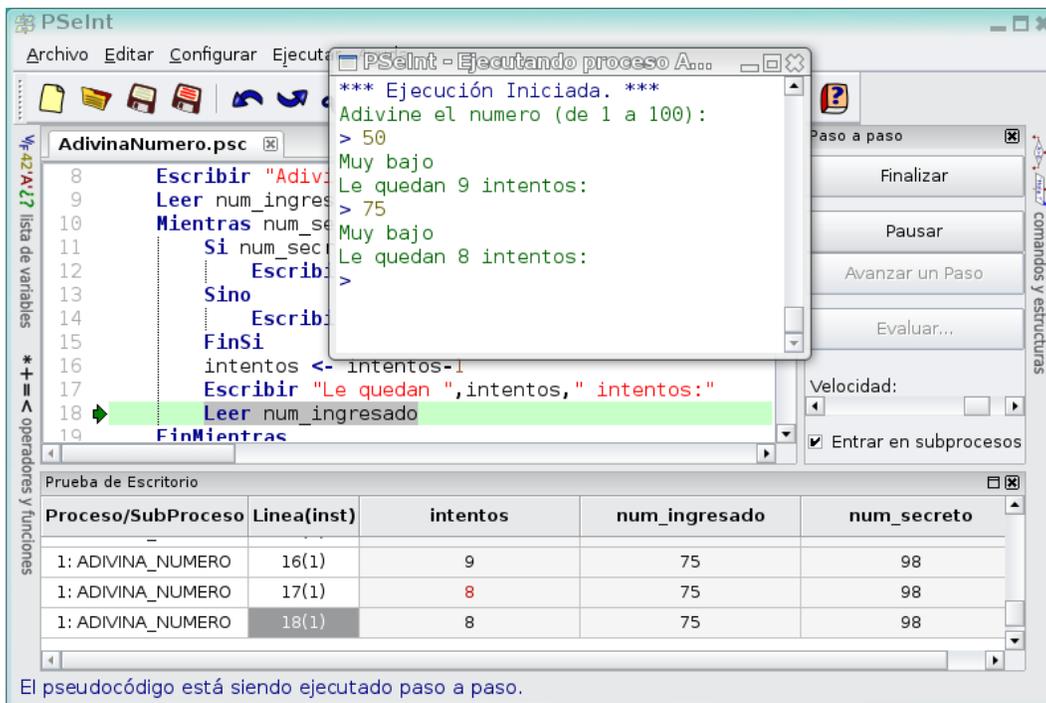


Figura 2. Prueba de escritorio (Fuente: Novara, 2016).

El software además de contar con las características y las funcionalidades mencionadas anteriormente incluye una ayuda, muy completa, con ejemplos de diferentes

niveles, y se actualiza frecuentemente para responder a las sugerencias y necesidades de los usuarios (Figura 3).

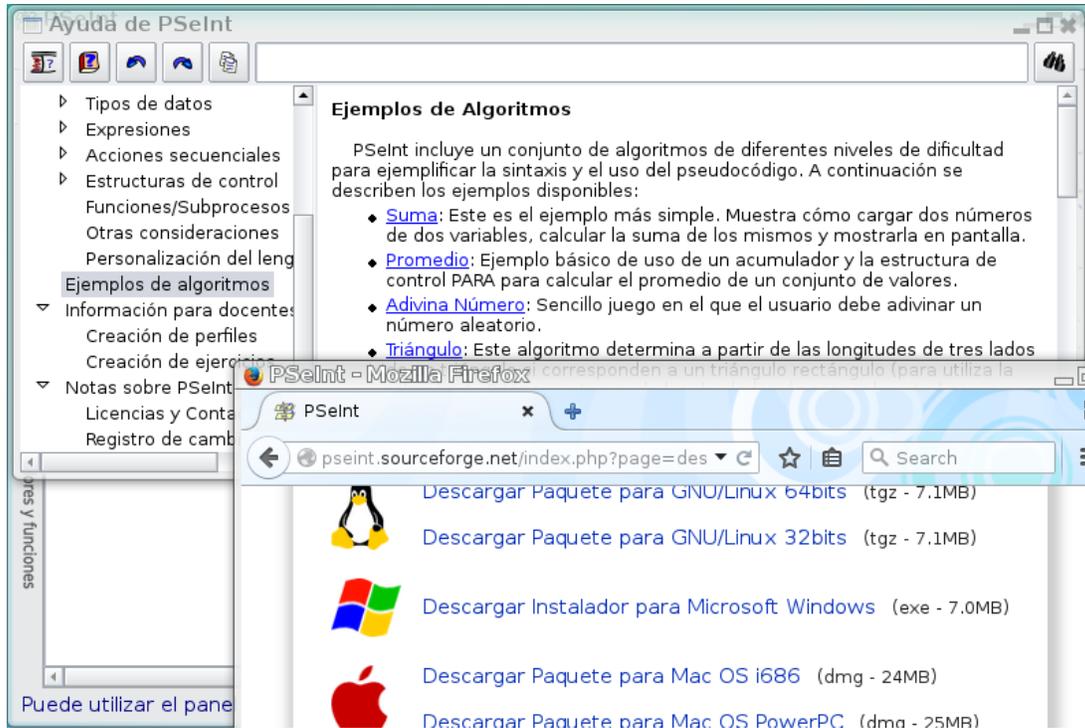


Figura 3. Ayuda de PSeInt (Fuente: Novara, 2016).

### 3. TRABAJO RELACIONADO

Existen estudios relacionados con la aplicación de la herramienta computacional PSeInt como apoyo en la enseñanza de diversas temáticas involucradas con la ingeniería. En González *et al.* (2022), se realizó un caso de estudio en el cual los estudiantes, utilizando PSeInt, desarrollaron un algoritmo como modelo de enseñanza-aprendizaje, para demostrar la importancia de la programación en la ingeniería. El algoritmo tenía por propósito determinar si los instrumentos de medición ofrecen las medidas establecidas de acuerdo con valores estándar de cualquier tipo de objeto espécimen. Específicamente analizaron la medición del diámetro de monedas como parte del control de calidad de este producto. El algoritmo sirvió como modelo de aprendizaje para posteriormente usarlo con otros objetos de medición que se utilizan en otras áreas como producción, calidad, manufactura, sostenibilidad, etc.

En un estudio realizado en la Universidad de las Ciencias Informáticas de la Habana, Cuba, Beúnes y Vargas (2020), tomaron como base resultados mostrados en un trabajo realizado en 2019, donde realizaron una propuesta didáctica para el empleo de la herramienta PSeInt en la asignatura de Álgebra Lineal. En su trabajo concluyen que el uso de la herramienta, además de propiciar el desarrollo del pensamiento algorítmico y la comprensión de las relaciones conceptuales, propicia la comprensión de los nexos entre símbolos y objetos que involucran al Álgebra Lineal y a la Programación, fortaleciéndose las relaciones interdisciplinarias y su expresión dentro del currículo de la carrera.

Además, Beúnes y Vargas (2019), proponen emplear PSeInt en el proceso de enseñanza aprendizaje del Álgebra Lineal, para romper con la forma tradicional de la enseñanza, que la herramienta favorece el desarrollo del pensamiento algorítmico, la comprensión de las

relaciones conceptuales, el enfoque interdisciplinario y la motivación de los estudiantes, ya que pueden ver cómo funciona el algoritmo. En general el estudio menciona la preferencia por emplear la herramienta en relación con los métodos tradicionales. Vargas, Pérez y Fabián (2017) realizaron un estudio para la integración de las asignaturas de Álgebra Lineal y Programación en los estudiantes de primer año de la carrera de Ingeniería en Informática. El propósito principal fue enfocar las clases de Programación hacia la solución de problemas reales para lograr mejorar la comprensión de los conceptos más abstractos del Álgebra Lineal y aumentar la motivación de los estudiantes hacia su estudio. Se llevó a cabo un taller en el que se instruyó a los profesores, de diversas universidades, sobre cómo lograr la vinculación de estas dos asignaturas. Como resultado de este trabajo surgieron propuestas innovadoras e interesantes, se puso en evidencia la relación interdisciplinaria de estas asignaturas y se mostró que con este enfoque se puede contribuir al desarrollo del pensamiento algorítmico.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Diseño de la investigación

El diseño consistió en evaluar las prácticas sobre temas del Álgebra Lineal usando la herramienta PSeInt.

Este tipo de investigación es aplicada cuasiexperimental, porque busca aplicar estrategias que permitan lograr el objetivo planteado: evaluar el rendimiento académico de la enseñanza del Álgebra Lineal usando una herramienta de apoyo para resolver las prácticas, donde los estudiantes elaboren pseudocódigos para programar, resolver ejercicios de los temas vistos, que les permita desarrollar y aprender dichos temas y coadyuve a elevar el rendimiento académico. Un estudio cuasiexperimental, busca probar una hipótesis causal manipulando una variable independiente sobre una variable dependiente, se tiene un grupo experimental y un grupo de control, se seleccionan grupos previamente establecidos.

Las preguntas que se pretende responder son las siguientes:

- ¿El uso del PSeInt se relaciona con un mayor rendimiento académico en el aprendizaje del Álgebra Lineal?
- ¿Se comprenden mejor los temas del Álgebra Lineal al usar PSeInt?
- ¿El tiempo de resolución de un ejercicio de Álgebra Lineal usando PSeInt será menor en comparación con el tiempo de resolución del mismo ejercicio cuando no se usa PSeInt?

Se pretende medir la calificación obtenida al resolver correctamente el problema de Álgebra Lineal del grupo experimental usando PSeInt y del grupo de control sin usar PSeInt.

Las variables definidas en este estudio son:

- Variable independiente: el programa PSeInt.
- Variable dependiente: índice de aprobación de los grupos.

Los análisis estadísticos ayudan a examinar las relaciones entre las variables. Este tipo de investigación tiene como objetivo medir estadísticamente el grado de relación que existe entre las variables definidas previamente.

### 4.2 Hipótesis

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** No existen diferencias significativas al usar la herramienta PSeInt en el porcentaje de aprobación de la materia de Álgebra Lineal en el IT-Victoria.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** Existen diferencias significativas al usar la herramienta PSeInt en el porcentaje de aprobación de la materia de Álgebra Lineal en el IT-Victoria.

### 4.3 Objetivo General

Verificar el aumento en el rendimiento académico de la enseñanza del Álgebra Lineal, usando la herramienta computacional PSeInt en el IT-Victoria.

#### 4.3.1 Objetivo Específico

- Comparar los grupos seleccionados y analizar si el PSeInt ayuda a elevar el rendimiento académico en temas de la asignatura de Álgebra Lineal.
- Evaluar si las prácticas implementadas en el PSeInt contribuyen al aprendizaje del Álgebra Lineal.

#### 4.4 Población

La población estadística para esta investigación son 42 estudiantes que cursan la asignatura de Álgebra Lineal de las carreras de Ingeniería Civil (IC), que conforman el grupo de control, y 26 estudiantes de Ingeniería en Mecánica (IMEC), que cursan la asignatura de Álgebra Lineal, que conforman el grupo experimental, en el semestre Enero – Junio 2024 del TecNM campus IT-Victoria.

Los estudiantes del grupo experimental tenían conocimientos de algoritmos porque estaban cursando la asignatura de Algoritmos y Programación en el mismo semestre que se llevó a cabo el presente trabajo de investigación.

#### 4.5 Procedimiento

Los grupos seleccionados para este trabajo ya estaban conformados, se seleccionaron dos grupos que cursaban la asignatura de Álgebra Lineal:

- Grupo de control. Estudiantes del programa de Ingeniería Civil (IC), quienes no utilizaron PSeInt.
- Grupo experimental. Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mecánica (IMEC).

En ambos grupos se impartieron los siguientes temas:

- Tema 1. Números Complejos.
- Tema 2. Matrices y Determinantes.
- Tema 3. Sistemas de Ecuaciones Lineales.

Se solicitó a los alumnos de ambos grupos realizar 6 prácticas relacionadas con los tres temas mencionados.

Los alumnos de IC resolvieron las prácticas manualmente, mientras que, los alumnos de IMEC, utilizaron la herramienta PSeInt para desarrollar y ejecutar las prácticas solicitadas. En los siguientes párrafos se describen las 6 prácticas.

**Práctica 2.1** Diseñe un pseudocódigo que permita realizar la suma, resta, multiplicación y división de números complejos a través de un menú de opciones como el que se muestra en la Figura 4.

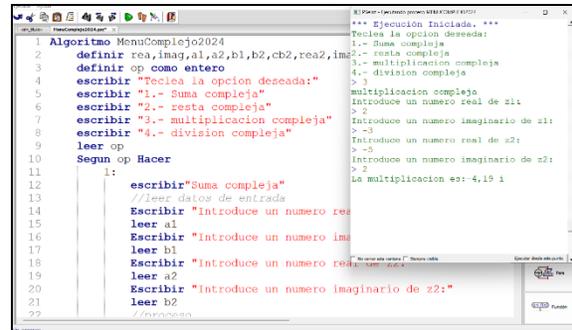


Figura 4. Operaciones con números complejos (Fuente: propia).

**Práctica 2.2** Diseñe un pseudocódigo que permita realizar la suma, resta y multiplicación de matrices reales a través de un menú de opciones (Figura 5).

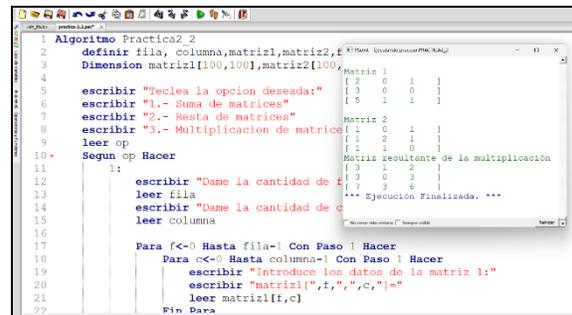


Figura 5. Operaciones con matrices (Fuente: propia).

**Práctica 2.3** Diseñe un pseudocódigo que calcule la determinante de una matriz (Figura 6).

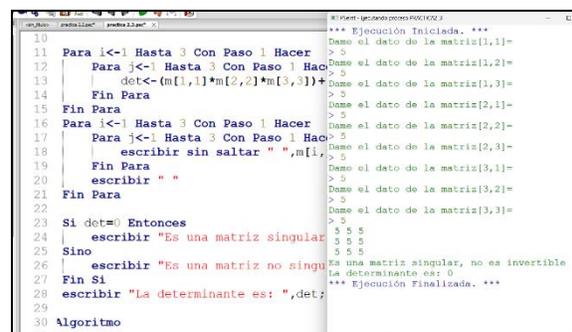


Figura 6. Determinante de una matriz (Fuente: propia).

**Práctica 2.4** Diseñe un pseudocódigo que calcule la matriz inversa de 3 x 3 e imprima la matriz resultante (ver Figura 7).

```

1 Algoritmo practica2 4
2 //Calcular la determinante
3 definir fila,col,m1,det,adj
4 dimension m1[3,3],adj[3,3],m1[0,2]=
5 Para fila<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
6     Para col<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
7         escribir "m1[" ,fila," ,",col," ]="
8         leer m1[fila,col]
9     Fin Para
10 Fin Para
11 det<=m1[0,0]*m1[1,1]*m1[2,2]-m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]-
12     m1[0,2]*m1[1,0]*m1[2,1]+m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]+
13     m1[0,2]*m1[1,0]*m1[2,1]-m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]
14 escribir "La determinante de la matriz es:"
15 Si det=0 Entonces
16     escribir "La matriz no tiene inversa"
17 Sino
18     //fila 0
19     adj[0,0]<=m1[1,1]*m1[2,2]-m1[1,2]*m1[2,1]
20     adj[0,1]<=m1[1,0]*m1[2,2]-m1[1,2]*m1[2,0]
21     adj[0,2]<=m1[1,0]*m1[2,1]-m1[1,1]*m1[2,0]
22     //fila 1
23     adj[1,0]<=m1[0,2]*m1[2,1]-m1[0,1]*m1[2,2]
24     adj[1,1]<=m1[0,0]*m1[2,2]-m1[0,2]*m1[2,0]
25     adj[1,2]<=m1[0,0]*m1[2,1]-m1[0,1]*m1[2,0]
26     //fila 2
27     adj[2,0]<=m1[0,1]*m1[2,0]-m1[0,0]*m1[2,1]
28     adj[2,1]<=m1[0,2]*m1[2,0]-m1[0,0]*m1[2,2]
29     adj[2,2]<=m1[0,1]*m1[2,1]-m1[0,2]*m1[2,0]
30     //fin de la matriz adj
31     //fin de la matriz adj
32     //fin de la matriz adj
33     //fin de la matriz adj
34     //fin de la matriz adj
35     //fin de la matriz adj
36     //fin de la matriz adj
37     //fin de la matriz adj
38     //fin de la matriz adj
39     //fin de la matriz adj
40     //fin de la matriz adj
41     //fin de la matriz adj
42     //fin de la matriz adj
43     //fin de la matriz adj
44     //fin de la matriz adj
45     //fin de la matriz adj
46     //fin de la matriz adj
47     //fin de la matriz adj
48     //fin de la matriz adj
49     //fin de la matriz adj
50     //fin de la matriz adj
51     //fin de la matriz adj
52     //fin de la matriz adj
53     //fin de la matriz adj
54     //fin de la matriz adj
55     //fin de la matriz adj
56     //fin de la matriz adj
57     //fin de la matriz adj
58     //fin de la matriz adj
59     //fin de la matriz adj
60     //fin de la matriz adj
61     //fin de la matriz adj
62     //fin de la matriz adj
63     //fin de la matriz adj
64     //fin de la matriz adj
65     //fin de la matriz adj
66     //fin de la matriz adj
67     //fin de la matriz adj
68     //fin de la matriz adj
69     //fin de la matriz adj
70     //fin de la matriz adj
71     //fin de la matriz adj
72     //fin de la matriz adj
73     //fin de la matriz adj
74     //fin de la matriz adj
75     //fin de la matriz adj
76     //fin de la matriz adj
77     //fin de la matriz adj
78     //fin de la matriz adj
79     //fin de la matriz adj
80     //fin de la matriz adj
81     //fin de la matriz adj
82     //fin de la matriz adj
83     //fin de la matriz adj
84     //fin de la matriz adj
85     //fin de la matriz adj
86     //fin de la matriz adj
87     //fin de la matriz adj
88     //fin de la matriz adj
89     //fin de la matriz adj
90     //fin de la matriz adj
91     //fin de la matriz adj
92     //fin de la matriz adj
93     //fin de la matriz adj
94     //fin de la matriz adj
95     //fin de la matriz adj
96     //fin de la matriz adj
97     //fin de la matriz adj
98     //fin de la matriz adj
99     //fin de la matriz adj
100    //fin de la matriz adj

```

Figura 7. Cálculo de la Matriz inversa (Fuente: propia).

Práctica 2.5 Diseñe un pseudocódigo que calcule la matriz transpuesta (Figura 8).

```

1 Algoritmo practica2 5
2 //Diseñar la matriz transpuesta
3 definir fila,col,m1,f,c Como real
4 escribir "Dame la cantidad de filas:"
5 leer f
6 escribir "Dame la cantidad de columnas:"
7 leer c
8 dimension m1[3,3]
9 Para fila<=0 Hasta f-1 Con Paso 1 Hacer
10     Para col<=0 Hasta c-1 Con Paso 1 Hacer
11         escribir "m1[" ,fila," ,",col," ]="
12         leer m1[fila,col]
13     Fin Para
14 Fin Para
15
16 escribir "matriz transpuesta"
17 Para fila<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
18     Para col<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
19         escribir sin saltar " ,",m1[col,fila]
20     Fin Para
21 Fin Para
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Figura 8. Matriz transpuesta (Fuente: propia)

Práctica 2.6 Diseñe un pseudocódigo que resuelva un sistema de ecuaciones lineales de 3 x 3 (ver Figura 9).

```

1 Algoritmo practica2 6
2 definir fila,col,m1,det,a,b,c,x1,m1[0,1]=
3 dimension m1[3,3],adj[3,3],inv[3,3]
4 Para fila<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
5     Para col<=0 Hasta 2 Con Paso 1 Hacer
6         escribir "m1[" ,fila," ,",col," ]="
7         leer m1[fila,col]
8     Fin Para
9 Fin Para
10 det<=m1[0,0]*m1[1,1]*m1[2,2]-m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]-
11     m1[0,2]*m1[1,0]*m1[2,1]+m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]+
12     m1[0,2]*m1[1,0]*m1[2,1]-m1[0,1]*m1[1,2]*m1[2,0]
13 leer a
14 escribir "Dame el término independiente 1:"
15 leer b
16 escribir "Dame el término independiente 2:"
17 leer c
18 detx<=a*m1[1,1]*m1[2,2]-m1[1,2]*m1[2,1]-
19     b*m1[0,1]*m1[2,2]-m1[0,2]*m1[2,1]-
20     c*m1[0,0]*m1[2,2]-m1[0,1]*m1[2,1]-
21     c*m1[0,0]*m1[2,1]-m1[0,1]*m1[2,0]-
22     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
23     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
24     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
25     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
26     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
27     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
28     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
29     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
30     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
31     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
32     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
33     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
34     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
35     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
36     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
37     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
38     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
39     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
40     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
41     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
42     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
43     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
44     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
45     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
46     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
47     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
48     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
49     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
50     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
51     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
52     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
53     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
54     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
55     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
56     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
57     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
58     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
59     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
60     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
61     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
62     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
63     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
64     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
65     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
66     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
67     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
68     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
69     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
70     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
71     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
72     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
73     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
74     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
75     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
76     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
77     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
78     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
79     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
80     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
81     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
82     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
83     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
84     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
85     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
86     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
87     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
88     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
89     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
90     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
91     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
92     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
93     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
94     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
95     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
96     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
97     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
98     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
99     c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-
100    c*m1[0,0]*m1[2,0]-m1[0,1]*m1[2,0]-

```

Figura 9. Solución de un sistema de ecuaciones lineales (Fuente: propia).

### 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez que los estudiantes, de ambos grupos, realizaron las prácticas, se llevó a cabo la evaluación y se compararon los resultados. Los promedios de las evaluaciones de ambos grupos fueron, en el grupo de control, 62.11 y en el grupo experimental, 62.23. Los resultados de las evaluaciones muestran que no se obtuvieron diferencias significativas en el promedio de ambos grupos. Consideramos que

una posible razón es debido a las características de los grupos objeto de estudio:

- Diferencia en la cantidad de estudiantes.
- Conocimientos de algoritmos en uno de los grupos.

Los resultados de las evaluaciones de los primeros tres temas de Álgebra Lineal, calculados en cada uno los grupos, muestran que el grupo experimental (IMEC) obtuvo un porcentaje de aprobación menor (70%), que el porcentaje de aprobación (74%) del grupo de control (IC).

#### 5.1 Análisis e interpretación de los datos

Con las calificaciones, los promedios y los porcentajes obtenidos, se realizó un análisis estadístico con la prueba F para varianzas de dos muestras. Con esta herramienta estadística determinamos si las varianzas de dos muestras son diferentes. Para realizarla, se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Las poblaciones de las muestras deben tener una distribución aproximadamente normal.
- Las poblaciones deben ser independientes entre sí.

El análisis estadístico prueba la hipótesis nula ya que las dos muestras provienen de poblaciones independientes con varianzas iguales.

Los resultados de esta prueba estadística se muestran en la Tabla 1. Con la prueba F, para varianzas de dos muestras, se observa que se no cumplan las siguientes dos condiciones:

- Que el valor de 0.05 sea mayor a 0.2869 (valor de  $P(F \leq f)$ ). Esta condición no se cumple.
- Que el valor 1.240981651 (F) sea mayor a 1.868233746 (valor crítico para F). La condición tampoco se cumple.

Al no cumplirse dichas condiciones, podemos concluir que las varianzas de las calificaciones finales de los dos grupos no son diferentes. Por lo tanto, se asume que son varianzas iguales en los dos grupos.

**Tabla 1.** Prueba F, para varianzas de dos muestras.

	Variable 1	Variable 2
Media	62.11904762	62.23076923
Varianza	1637.034262	1319.144615
Observaciones	42	26
Grados de libertad	41	25
F	1.240981651	
P(F<=f) una cola	0.286998771	
Valor crítico para F (una cola)	1.868233746	

Posteriormente, se realizó la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (ver Tabla 2). Se probaron con ella tanto la hipótesis nula ( $H_0$ ) como la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) de este estudio.

Si se cumple alguna de siguientes condiciones, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ):

- Que el valor de 0.05 sea mayor a el valor 0.990862218 (P(T<=t) dos colas). No se cumple la condición.
- Que el valor crítico de 1.996564419 (t(dos colas)) sea menor al valor -0.1149623. (estadístico t). La condición tampoco se cumple.

Como podemos observar, no se cumple ninguna de las dos condiciones, significa que no hay diferencias entre las medias de los grupos, (no son distintas), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias significativas al usar la herramienta PSeInt en el porcentaje de aprobación de la materia de Álgebra Lineal en el IT-Victoria. Lo cual quiere decir que, en los grupos seleccionados para este estudio, no se obtuvieron diferencias significativas en el incremento del porcentaje de aprobación ni en el promedio general del grupo experimental. Esto debido a las características propias de cada grupo, así como a la diferencia en la cantidad de estudiantes de cada grupo.

**Tabla 2.** Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Variable 1	Variable 2
Media	62.11904762	62.2307692
Varianza	1637.034262	1319.14462
Observaciones	42	26
Varianza agrupada	1516.621517	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	66	
Estadístico t	-0.01149623	
P(T<=t) una cola	0.495431109	
Valor crítico de t (una cola)	1.668270514	
P(T<=t) dos colas	0.990862218	
Valor crítico de t (dos colas)	1.996564419	

Adicionalmente, se elaboró la gráfica de la Figura 10, donde se muestran las evaluaciones finales de los dos grupos. El propósito de la gráfica es visualizar y comparar la variabilidad de esta información (la amplitud de la caja y del bigote). Como se puede observar, no hay mucha diferencia en los dos conjuntos de datos analizados, lo que significa que en ambos grupos se obtuvieron resultados similares.



**Figura 10.** Gráfica de las evaluaciones finales.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico mostraron que, no existen diferencias significativas en el porcentaje de aprobación de la materia de Álgebra Lineal

entre el grupo de alumnos que uso PSeInt (IMEC) y entre el grupo que no lo utilizó (IC) para resolver las prácticas planteadas. Por tanto, la hipótesis nula  $H_0$  se aceptó y la hipótesis alternativa  $H_1$  se rechazó. Esto se reflejó tanto en los promedios, 62.11 en el grupo de control (IC) y 62.23 en el grupo experimental (IMEC), como en los porcentajes de aprobación, 74% (IC), y 70% (IME) respectivamente.

En ambos grupos se logró un resultado similar. Sin embargo, aunque a los estudiantes de IMEC se les dificultó realizar algunas de las prácticas, el uso de PSeInt les permitió obtener de forma más rápida los resultados de las operaciones y verificar su efectividad al momento porque en la herramienta se puede observar el funcionamiento, la ejecución y la verificación de los resultados de manera inmediata. Todo esto motivó a los estudiantes de IMEC a mostrar más interés en atender y comprender los temas de Álgebra Lineal. Adicionalmente, aprender a usar una herramienta computacional les permite desarrollar habilidades en el manejo de la tecnología, desarrollar el pensamiento algorítmico (Ramírez *et al.*, 2018), así como ampliar sus conocimientos en otras áreas. Por el contrario, los estudiantes de IC quienes resolvieron manualmente las prácticas mostraron un cierto tedio al momento de realizarlas.

Como conclusión, creemos que en los resultados obtenidos pudo afectar, principalmente, la cantidad de estudiantes de los grupos seleccionados, 26 y 42, y llevamos a no encontrar diferencias significativas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beúnes Cañete J.E. y A. Vargas. 2019. La introducción de la herramienta didáctica PSeInt en el proceso de enseñanza aprendizaje: una propuesta para Álgebra Lineal. SciELO Cuba, 15(1): 147-157. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-29552019000100147](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-29552019000100147)
- Beúnes Cañete, J. E. y A. Vargas. 2020. Las relaciones interdisciplinarias en la enseñanza del Álgebra Lineal asistido por la herramienta PSeInt. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias

Informáticas, 13(8): 60-69. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8590375.pdf>

- Basilio Marcelo H.E., M.B. Nuñez A. Espinoza, F. Cárdenas y B. Pariona. 2022. PSeInt y pensamiento computacional en estudiantes de Ciencias Matemáticas e Informática de la UNCP. Investigación y Educación, 3(1): 37-45. Recuperado de: <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/invest/article/view/1665/1818>
- González, J., L.R. Vargas, D. Pérez, y Y. Zavala. 2022. PSeInt como herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Congreso, 2 (1): 236-241.
- Novara P.J. 2016. Sitio Oficial de PSeInt. Recuperado de: <https://pseint.sourceforge.net/index.php?page=portada.php>
- Ramírez Gil, M.P., D. González, R. Ortiz J. Vargas y L. García. 2018. Uso de software de simulación de algoritmos para mejorar los índices de aprobación de la programación en el nivel superior. TecnoINTELECTO, 15(2): 29-37. Recuperado de: [https://www.itvictoria.edu.mx/investigacion/tecnointelecto/1-TecnoINTELE-Vol-15\(2\)-DIC-2018-05-VIII-19.pdf](https://www.itvictoria.edu.mx/investigacion/tecnointelecto/1-TecnoINTELE-Vol-15(2)-DIC-2018-05-VIII-19.pdf)
- Vargas Ricardo, A., O.L. Pérez y Y. Fabián. 2017. Actividades para la integración del Álgebra Lineal y la Programación en el primer año en la carrera de Informática. Acta Latinoamericana De Matemática Educativa, 30 (2017): 1180-1189.
- Uzuriaga V.L. y J.J. Arias. 2006. Una mirada al Álgebra lineal. Scientia Et Technica, XII (30): 333 - 338. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491066.pdf>
- Castro Mayorga, M.E., C.A. Sánchez, O. Toscano y P.R. Taco. 2023. Aplicación del Álgebra Lineal en la Ingeniería. Dominio de las Ciencias, 9(2): 1639-1656. Recuperado de <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3364>

## IMPACTO DE UN SISTEMA INTERACTIVO EN LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS: ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Minerva Agüero-Lara, Alma D. Romero-Ocaño & Reyes G. Encinas-Montoya

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Agua Prieta, Ave. Tecnológico y Carretera a Janos Col. Progreso S/N, Agua Prieta Sonora México.

[m.aguero@aguaprieta.tecnm.mx](mailto:m.aguero@aguaprieta.tecnm.mx), [a.romero@aguaprieta.tecnm.mx](mailto:a.romero@aguaprieta.tecnm.mx), [r.encinas@aguaprieta.tecnm.mx](mailto:r.encinas@aguaprieta.tecnm.mx)

**RESUMEN:** El uso de herramientas interactivas en la enseñanza de matemáticas ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento académico y la percepción de la materia. Este estudio evaluó el impacto de MyOpenMath en estudiantes de nuevo ingreso en ingeniería, comparando su desempeño con un grupo de control que utilizó un método tradicional. Los resultados revelaron una mejora significativa en las calificaciones de los estudiantes que usaron MyOpenMath, superando al grupo de control. Además, estos estudiantes reportaron menor ansiedad y mayor motivación hacia las matemáticas, atribuyendo estos cambios a la retroalimentación inmediata y la flexibilidad de la plataforma. Aunque el grupo de control también mostró avances, los beneficios emocionales y de autonomía en el aprendizaje fueron más pronunciados en el grupo experimental. Estos hallazgos sugieren que la integración de sistemas interactivos en la enseñanza de matemáticas no solo optimiza el aprendizaje, sino que también contribuye a generar una actitud más positiva hacia la materia.

**PALABRAS CLAVE:** Desempeño Académico, Aprendizaje, Propedéutico, MyOpenMath.

**ABSTRACT:** The use of interactive tools in mathematics teaching has proven to be an effective strategy for improving academic performance and the perception of the subject. This study evaluated the impact of MyOpenMath on incoming engineering students, comparing their performance with a control group that used a traditional method. The results revealed a significant improvement in the grades of students who used MyOpenMath, surpassing the control group. Additionally, these students reported less anxiety and higher motivation towards mathematics, attributing these changes to immediate feedback and the flexibility of the platform. Although the control group also showed progress, the emotional benefits and autonomy in learning were more pronounced in the experimental group. These findings suggest that integrating interactive systems in mathematics teaching not only optimizes learning but also helps to foster a more positive attitude towards the subject.

**KEYWORDS:** Academic Performance, Learning, Preparatory, MyOpenMath.

### 1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de las matemáticas en la educación superior enfrenta desafíos como la baja motivación, la ansiedad matemática y la falta de habilidades digitales para un aprendizaje autónomo (Cosgaya *et al.*, 2016; Sari *et al.*, 2024). Además, la transición desde la educación media superior es un obstáculo, ya que muchos estudiantes ingresan con deficiencias previas, afectando su desempeño y aumentando la reprobación y deserción (Castillo *et al.*, 2020; Cabanzo, 2017). Asimismo, el aprendizaje de las matemáticas es una preocupación tanto para los docentes y las instituciones educativas como para los propios estudiantes; estos últimos, a menudo, experimentan ansiedad, temor y rechazo hacia los estudios relacionados con las ciencias exactas (Barcos, 2003). En este contexto, las

instituciones de educación superior enfrentan el desafío de enseñar matemáticas y de abordar las creencias negativas asociadas a esta disciplina. Por lo tanto, encontrar estrategias que fomenten un acercamiento positivo a las matemáticas es una tarea compleja (Buitrago, 2023). Así, transformar actitudes negativas hacia esta ciencia requiere esfuerzos significativos, y es en este proceso donde los cursos propedéuticos juegan un papel crucial en el desarrollo académico de los estudiantes (Cosgaya *et al.*, 2016). De tal forma, que al inicio de cada ciclo escolar los docentes que imparten materias de matemáticas en las instituciones de educación superior, se encuentran las dificultades inherentes a los diferentes niveles de desempeño académico de los estudiantes (Moreno *et al.*, 2014).

Estudios realizados muestran que la disminución de los conocimientos previos de los estudiantes va en aumento, de igual forma se observa un incremento en la estadística de los índices de reprobación, situación observada en cada generación que ingresa a la universidad (Díaz *et al.*, 2019). Numerosos estudios han demostrado que la transición de bachillerato a universidad supone un desafío para los estudiantes, motivo por el cual en muchos casos desertan durante el primer año de universidad (Bardelle y Di Martino, 2012; Di Martino y Gregorio, 2018; Gueudet, 2008)

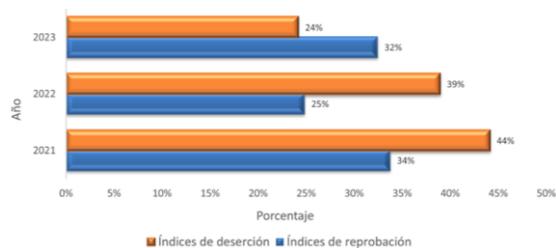
El Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes mide los conocimientos y habilidades en matemáticas, lectura y ciencias de alumnos de 15 años; en la evaluación de 2022, el 66% de los estudiantes en México obtuvo un desempeño inferior al nivel 2 en matemáticas, proporción significativamente mayor al 31% registrado en promedio, por los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Juliet y Francesco, 2014). Todo aquel estudiante que no alcance el nivel 2 es clasificado de bajo rendimiento. Una herramienta muy utilizada para nivelar los conocimientos previos de los estudiantes que ingresan a las instituciones de educación superior son los cursos propedéuticos, facilitando su adaptación al nivel superior (Cosgaya *et al.*, 2016). El programa propedéutico constituye una estrategia de admisión diseñada para estudiantes que, debido a sus condiciones de origen, se encuentran en desventaja en comparación con otros respecto a los conocimientos requeridos para el ingreso (Abricot, 2014).

Las tecnologías de la información han revolucionado la enseñanza al servir como apoyo didáctico, fomentar la adquisición de competencias digitales y generar conocimiento. Estos avances han transformado el modelo educativo tradicional, incorporando sistemas interactivos que brindan retroalimentación inmediata y favorecen un aprendizaje más significativo (Barrios *et al.*, 2022). En este contexto, las herramientas digitales han cobrado relevancia como estrategia para mejorar el aprendizaje de las matemáticas; MyOpenMath es una plataforma gratuita que facilita la enseñanza mediante un sistema interactivo, permitiendo a los estudiantes recibir retroalimentación, practicar con ejercicios personalizados y desarrollar habilidades de

forma autónoma (Ben, 2016; Laitón *et al.*, 2017).

A pesar de la evidencia sobre la efectividad de estas herramientas en la mejora del rendimiento académico, existe poca investigación sobre su impacto en otros aspectos fundamentales del aprendizaje, como la motivación, la reducción de la ansiedad y el desarrollo de competencias digitales (Gamboa y Moreira, 2017; Presmeg, 2006). Por ello, el presente estudio busca ampliar el enfoque tradicional de evaluación del desempeño académico, explorando cómo el uso de MyOpenMath puede influir en la percepción de los estudiantes hacia las matemáticas y su preparación para enfrentar desafíos académicos en la educación superior.

En el TecNM Agua Prieta, los índices de deserción y reprobación en la materia de cálculo diferencial del primer semestre han mostrado una tendencia creciente a lo largo de los años, como se puede apreciar en la gráfica de la Figura 1. Cabe destacar que, aunque el índice de deserción ha experimentado una leve disminución, el índice de reprobación se ha mantenido persistentemente por encima del 30%. De esta manera, el presente estudio surge de la inquietud de los docentes del área de ciencias básicas por los altos índices de reprobación y deserción que se presentan en el Tecnológico Nacional de México en Agua Prieta (TecNM Agua Prieta) a través de los años. En este contexto, surge una pregunta de investigación crucial:



**Figura 1.** Promedio de Índices de deserción y reprobación en cálculo diferencial en las carreras de ingenierías en el TecNM Agua Prieta. (Fuente: elaboración propia con datos del TecNM Agua Prieta).

¿En qué medida MyOpenMath mejora el desempeño académico en matemáticas de estudiantes de ingeniería, reduce la ansiedad y aumenta su motivación hacia la materia?

Al realizar esta investigación se pretende evaluar el impacto de MyOpenMath en el aprendizaje de matemáticas en estudiantes de ingeniería, considerando su influencia en el rendimiento académico, la motivación, la ansiedad hacia las matemáticas y el desarrollo de competencias digitales, analizando la efectividad de MyOpenMath en relación con métodos tradicionales de enseñanza.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1 Enseñanza de matemáticas y tecnología

Antiguamente, la matemática se definía como la ciencia de la cantidad, abarcando las magnitudes (geometría), los números (aritmética) y la generalización de ambos conceptos (álgebra) (Godino *et al.*, 2003). Según Quispe (2010), las matemáticas son el estudio de las relaciones entre cantidades, magnitudes y propiedades, así como de las operaciones lógicas empleadas para deducir cantidades, magnitudes y propiedades desconocidas. En este contexto, la enseñanza de las matemáticas ha sido un desafío histórico debido a su naturaleza abstracta y su alta tasa de deserción; la integración de tecnologías emergentes en el aula ha demostrado ser un factor clave para mejorar la comprensión y motivación de los estudiantes (Marqués, 2000; Salinas, 2004). En particular, el uso de plataformas interactivas permite la aplicación del aprendizaje adaptativo, que ajusta los contenidos a las necesidades individuales de cada estudiante (Hashemi *et al.*, 2011).

### 2.2. Impacto de los sistemas interactivos

El avance tecnológico ha transformado radicalmente nuestra sociedad en las últimas décadas, introduciendo innovaciones revolucionarias con un profundo impacto en todos los aspectos de la vida. La era digital ha provocado una nueva revolución con las tecnologías de la información y comunicación (TIC), destacando el papel crucial de la computadora como herramienta principal (Ferrer, 2007). En el ámbito educativo, la implementación de las TIC en las aulas es fundamental para la formación, comprensión y análisis, evitando que las clases de matemáticas se vuelvan monótonas; esto permite una participación activa del estudiante, mejorando su aprendizaje y su capacidad de desarrollo (Koehler *et al.*, 2014).

En la educación superior, las instituciones han integrado avances tecnológicos en la gestión de la información y la comunicación (Salinas, 2004). Destacan las tecnologías móviles con acceso a internet, que han impulsado la creación de plataformas educativas (Cataldi y Lage, 2012). Además, el auge de la educación virtual y el uso de dispositivos móviles han enriquecido el aprendizaje y favorecidos entornos personalizados (Hashemi *et al.*, 2011; Valero *et al.*, 2012). Por otro lado, la generación actual de estudiantes ha adoptado plenamente el uso de la tecnología; la explosión de recursos en internet, redes sociales y dispositivos modernos ha transformado radicalmente la manera en que los estudiantes realizan sus actividades, tanto dentro como fuera de la escuela (Márquez, 2015). Sin embargo, una posible razón del bajo rendimiento de muchos estudiantes es que la educación se sigue impartiendo de manera similar a como se hacía en los siglos XIX y XX, lo cual difiere significativamente de la forma en que los estudiantes aprenden fuera del ámbito escolar (Gonzalez, 2010).

Los sistemas interactivos como MyOpenMath facilitan el aprendizaje con retroalimentación inmediata, permitiendo corregir errores en tiempo real (Ben, 2016). La gamificación y herramientas visuales mejoran la retención del conocimiento y la participación (Koehler *et al.*, 2014). Además, estos entornos reducen la ansiedad matemática al ofrecer ejercicios dinámicos y personalizados, aumentando la confianza del estudiante (Gamboa y Moreira, 2017). Su accesibilidad y flexibilidad favorecen un aprendizaje autónomo y significativo (Presmeg, 2006).

### 2.3. MyOpenMath

MyOpenMath es una plataforma gratuita de tareas en línea, diseñada originalmente para la enseñanza de matemáticas, aunque su uso se ha extendido a otras disciplinas afines; este sistema se basa en un software de código abierto desarrollado por David Lippman, profesor en el estado de Washington, y ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta avanzada de gestión educativa accesible tanto para docentes como para estudiantes (Ben, 2016). En este contexto, los profesores pueden crear tareas que requieran respuestas algebraicas y gráficos por parte de los estudiantes. Además, el sistema incluye un útil sistema de gestión de cursos, con

funcionalidades como libro de calificaciones, publicación de archivos y foros de discusión. Los instructores tienen la libertad de personalizar las tareas en aspectos como aleatorización, número de intentos, tipo de pregunta, fecha límite, entre otros (Laitón *et al.*, 2017). Por otro lado, MyOpenMath integra funciones avanzadas que generan tareas aleatorias mediante algoritmos y califican automáticamente respuestas numéricas y algebraicas. Destaca por permitir a los estudiantes ingresar expresiones algebraicas, reconociendo equivalencias, lo que resulta fundamental en cursos de matemáticas. Además, incluye una herramienta para graficar funciones y figuras matemáticas (Flores *et al.*, 2024).

Asimismo, el sistema también cuenta con un sistema de gestión de cursos que incluye un libro de calificaciones, la posibilidad de publicar archivos y foros de discusión, utilizar MyOpenMath ofrece varias ventajas significativas tanto para los profesores como para los estudiantes como son (Flores *et al.*, 2024):

- Gratuito y de código abierto: accesible para cualquier institución, profesor o estudiante, con mejoras continuas gracias a su naturaleza abierta.
- Tareas aleatorias: genera ejercicios únicos, reduciendo el plagio y promoviendo el aprendizaje individual.
- Calificación automatizada: corrige respuestas numéricas y algebraicas, ahorrando tiempo y brindando retroalimentación inmediata.
- Reconocimiento algebraico: identifica expresiones equivalentes, facilitando el aprendizaje de matemáticas.
- Herramientas gráficas: permite graficar funciones y figuras matemáticas para una comprensión visual.
- Gestión de cursos: incluye libro de calificaciones, foros y publicación de archivos para una administración eficiente.
- Personalización de tareas: ajusta aleatorización, intentos, tipo de pregunta y fechas límite según las necesidades del curso.
- Flexibilidad y creatividad: facilita la adaptación de estrategias pedagógicas innovadoras.

- Compatibilidad: se integra con otras plataformas educativas para mejorar la experiencia de aprendizaje.
- Accesibilidad: disponible en línea en cualquier momento y lugar, fomentando el aprendizaje autónomo.

#### 2.4. Comparación de plataformas interactivas

El presente estudio compara MyOpenMath con otras plataformas como Khan Academy, Desmos, GeoGebra y ALEKS, analizando sus ventajas y desventajas en la enseñanza de matemáticas.

- **MyOpenMath:** plataforma gratuita enfocada en matemáticas, con generación automática de ejercicios y retroalimentación inmediata (Flores *et al.*, 2024).
- **Khan Academy:** ofrece videos explicativos y ejercicios interactivos, con un enfoque más guiado (Kelly y Rutherford, 2017).
- **Desmos:** especializado en gráficos y visualización matemática, útil para conceptos geométricos y funciones (Ogando, 2020).
- **GeoGebra:** combina álgebra, geometría y cálculo en un entorno visual, ideal para explorar conceptos matemáticos (García y Izquierdo, 2017).

#### 2.5. Hipótesis de investigación

H<sub>0</sub>: La enseñanza a través de un sistema interactivo no mejora el desempeño académico en matemáticas de los estudiantes de ingeniería.

H<sub>1</sub>: La enseñanza a través de un sistema interactivo mejora el desempeño académico en matemáticas de los estudiantes que ingresan a ingeniería.

### 3. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño cuasiexperimental, y se llevó a cabo en el verano de 2024 en el TecNM, campus Agua Prieta, con una población de estudio conformada por alumnos de nuevo ingreso en las carreras de ingeniería del TecNM. Se invitó a los estudiantes de Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica a participar en el estudio, empleando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

La muestra incluyó dos grupos de Ingeniería Civil y uno de Ingeniería Electrónica, que

conformaron los grupos experimentales y participaron en un curso interactivo. Adicionalmente, se incorporó un grupo de Ingeniería Mecatrónica, que cursó el mismo programa, pero sin el uso del sistema interactivo, sirviendo como grupo de referencia. Ninguno de los grupos superó los 18 estudiantes.

Con el propósito de determinar los conocimientos previos de los estudiantes se aplicó una evaluación antes y después del curso; el curso se extendió a lo largo de dos semanas, con dos horas de clase diarias, sumando un total de 20 horas. Se elaboró un instrumento de medición que consistió en un cuestionario que contenía diferentes tipos de reactivos de aritmética (específicamente fracciones) y algebra elemental. El instrumento fue desarrollado por profesionales de matemáticas del área de ciencias básicas del TecNM Agua Prieta con más de 10 años de experiencia.

El curso interactivo en MyOpenMath fortalece habilidades algebraicas básicas mediante siete secciones progresivas, iniciando con operaciones con fracciones y abarcando álgebra, ecuaciones, exponentes, polinomios, productos notables y factorización. Las lecciones, organizadas de forma gradual, facilitan la comprensión y evitan la sobrecarga cognitiva. Cada lección jerarquiza la información, comenzando con la definición y características de un concepto, seguido de ejemplos visuales paso a paso en PowerPoint. Al final, los estudiantes realizan una actividad práctica que les permite aplicar lo aprendido y recibir retroalimentación instantánea, ya sea del docente o de la plataforma, que incluye herramientas de autoevaluación, como se muestra en la Figura 2.

¿Qué haría para despejar la variable en la siguiente ecuación, usando solo un paso?

$$x + 4 = 63$$

**✖** Incorrecto. Este paso no aislará la variable. Solo dará una ecuación equivalente.  
 $x + 4 + 63 = 63 + 63$ . La respuesta correcta es: Restar 4 en ambos miembros de la ecuación

- Sumar 4 en ambos miembros de la ecuación
- Restar 4 de ambos miembros de la ecuación
- Sumar 63 en ambos miembros de la ecuación
- Restar 4 solo en el miembro izquierdo de la ecuación

Question Help: [Video](#) [Video](#)

**Figura 2.** Ejemplo de pregunta con retroalimentación automática en MyOpenMath.

El curso incluye aplicaciones interactivas que permiten a los estudiantes explorar conceptos matemáticos de manera dinámica. En la lección sobre ecuaciones lineales, se utiliza una aplicación de balanza de equilibrio para ilustrar la resolución de ecuaciones, permitiendo a los estudiantes manipularla virtualmente y observar el proceso de despeje de la incógnita en tiempo real. También incluye videos explicativos con ejemplos pasos a paso, disponibles para consulta en cualquier momento, lo que facilita el aprendizaje autónomo. La integración de recursos como aplicaciones interactivas, videos y presentaciones permite a los estudiantes elegir el material que mejor se adapte a su estilo de aprendizaje, favoreciendo una mayor comprensión y mejor rendimiento académico.

Al final de cada lección, se propone una actividad en forma de cuestionario extraclase, diseñada para reforzar el aprendizaje y evaluar la comprensión de los temas abordados. Cada cuestionario genera versiones distintas de las mismas preguntas, modificando los valores para que cada estudiante reciba un conjunto único, promoviendo así el aprendizaje individualizado. Los estudiantes reciben retroalimentación inmediata sobre sus respuestas y tienen acceso a videos y ejemplos escritos que actúan como guías paso a paso para resolver las actividades. Al observar la resolución de problemas similares, pueden comprender mejor el procedimiento y aplicarlo a sus propios ejercicios.

Una de las principales ventajas del sistema es la posibilidad de practicar de manera ilimitada hasta alcanzar el dominio del tema. Al generar nuevas versiones de las preguntas en cada intento, los estudiantes pueden trabajar a su propio ritmo, dedicando más tiempo a los conceptos que les resulten más difíciles y avanzando rápidamente en aquellos que dominan. Las actividades están diseñadas para ofrecer flexibilidad en la gestión del tiempo de estudio. Los estudiantes pueden iniciarlas sin la obligación de completarlas en una sola sesión, ya que el progreso se guarda automáticamente y permite retomarlas en cualquier momento. Además, el libro de calificaciones les permite hacer un seguimiento de su desempeño, identificar áreas de mejora y tomar medidas para optimizar su aprendizaje.

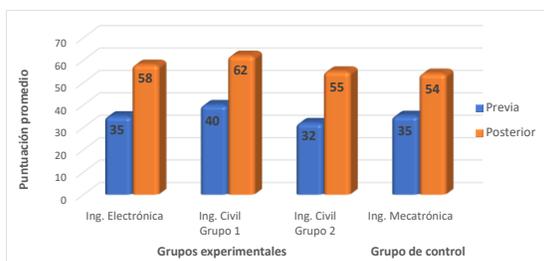
Tras la evaluación del curso, se realizó un análisis detallado de los datos recopilados,

incluyendo la generación de gráficos y una discusión exhaustiva de los resultados, los cuales se presentan en la siguiente sección.

#### 4. RESULTADOS

Se aplicó el instrumento de evaluación al inicio y final del curso contabilizando la puntuación de cada uno de los estudiantes de los cuatro grupos estudiados. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3, donde se observa que la implementación del curso interactivo presentó un impacto positivo en el rendimiento académico, como se refleja en las diferencias de puntuaciones promedio entre la prueba previa y posterior en las distintas carreras.

El desempeño de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica mejoró en 65.71%, ya que de un promedio de 35 en la prueba previa aumentó a un promedio de 58 en la prueba posterior. De manera similar en Ingeniería Civil Grupo uno, se observó una mejora del 55 %, ya que la diferencia de promedios entre la prueba previa (40 puntos) y la posterior (62 puntos), señala un progreso académico. Por otra parte, el grupo dos de Ingeniería Civil presentó una mejora del 71.88 %, ya que, de 32 puntos, aumentó a 55 puntos en promedio, indicando una mejora sustancial en el desempeño estudiantil. El grupo de control, logró un incremento del 53.46%, pasando de una puntuación promedio inicial de 35 a 54, refleja avance en el rendimiento de los alumnos.



**Figura 3.** Puntuaciones promedio.

Estas variaciones positivas resaltan la efectividad del curso interactivo en el desarrollo de habilidades y conocimientos, ya que todas las carreras presentaron un incremento considerable en las calificaciones promedio después de su implementación.

La prueba de Wilcoxon para muestras pareadas utilizando los puntajes de evaluación de los estudiantes antes y después del curso interactivo de matemáticas, a través del

paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). La prueba de Wilcoxon es una prueba no paramétrica utilizada para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. La elección de esta prueba para muestras pareadas en la presente investigación es adecuada, dado que el tamaño de las muestras en cada grupo es inferior a 19 alumnos. Además, al haber realizado mediciones pareadas a través de una evaluación previa y una posterior en cada grupo, la prueba de rangos con signo es especialmente pertinente, ya que evalúa las diferencias dentro de cada par de observaciones. La naturaleza no paramétrica de esta prueba también resulta beneficiosa, al no asumir una distribución específica y ser menos sensible a la presencia de valores atípicos.

La formulación de una hipótesis unidireccional permite una prueba de significancia estadística más enfocada en evaluar si hay evidencia suficiente para respaldar la idea de que el sistema interactivo mejora el rendimiento académico, con un nivel de significancia de 0.05. Los resultados de la prueba de Wilcoxon se presentan en la Tabla 1. La primera columna enumera las carreras analizadas, mientras que la segunda muestra la diferencia entre las puntuaciones posteriores y previas a la prueba de cada participante en el curso interactivo de matemáticas. La cuarta columna indica el tamaño de la muestra ( $N$ ) y las columnas restantes presentan los rangos obtenidos.

En el grupo de 11 estudiantes de Ingeniería Electrónica que participaron en el curso interactivo, todos mejoraron su puntuación en el examen posterior; ninguno obtuvo una calificación más baja ni mantuvo la misma calificación en ambas pruebas. En el Grupo 1 de Ingeniería Civil, se observó un rango negativo: un estudiante obtuvo una puntuación más baja en la evaluación posterior. El rango positivo indica que 13 estudiantes mejoraron sus puntajes en la prueba posterior, mientras que un estudiante mantuvo la misma calificación en ambas pruebas. En el Grupo 2 de Ingeniería Civil, compuesto por 18 estudiantes, tres disminuyeron su calificación en la prueba posterior, catorce mejoraron y uno mantuvo la misma calificación en ambas pruebas. En el grupo de Ingeniería Mecatrónica, compuesto por 16 estudiantes

que participaron en el curso sin la modalidad interactiva (grupo de control), se observó que, al finalizar el curso, 15 estudiantes experimentaron una mejora en sus puntuaciones. Sin embargo, hubo una disminución en la calificación de un estudiante. Es importante destacar que ninguno de los participantes mantuvo su calificación inicial, lo que significa que todos los estudiantes presentaron una variación en sus puntuaciones. En la última columna de la Tabla 1 se muestra la suma de los rangos positivos y negativos. Si las calificaciones en la prueba previa y posterior al curso fueran idénticas, se espera que la diferencia entre los rangos positivos y negativos fuese cero, lo que implicaría que no hubo mejoría tras implementar el curso interactivo. No obstante, al restar la suma de los rangos negativos de la suma de los rangos positivos, se obtiene 66, 103, 137 y 134 para las carreras de Ingeniería Electrónica, Civil Grupo 1, Civil Grupo 2, y el grupo control de mecatrónica, respectivamente.

En todos los grupos, la diferencia de las sumas de rangos se aleja significativamente de cero, lo que indica un cambio notable en las calificaciones. Además, dado que todas las diferencias obtenidas son positivas, esto sugiere una mejora en las calificaciones del examen posterior en comparación con las puntuaciones del examen previo. La Tabla 2 muestra los valores de  $p$  obtenidos mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, los cuales permiten evaluar si hubo una mejora significativa en el rendimiento académico de los estudiantes después de la implementación del curso interactivo.

En esta investigación se establece un nivel de significancia del 5% (0.05), lo que implica que existe un 5% de riesgo de rechazar erróneamente la hipótesis nula ( $H_0$ ) y concluir que el curso interactivo mejora el desempeño académico en matemáticas, cuando en realidad no hay tal mejora (es decir,  $H_0$  es verdadera). Para probar una hipótesis, se compara el valor  $p$  con el nivel de significancia. Si el valor  $p$  es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que la mejora en el rendimiento académico es estadísticamente significativa. Al formular la hipótesis alternativa como "La enseñanza a través de un sistema interactivo mejora el desempeño académico en matemáticas de los estudiantes que ingresan a ingeniería del TecNM Agua Prieta", se busca

determinar si hay una mejora en las calificaciones debido al uso del sistema interactivo. Esta hipótesis sugiere una dirección específica de mejora, es decir, que las calificaciones son más altas después de utilizar el sistema interactivo. Al llevar a cabo una prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas en SPSS, se obtuvo un valor de  $p$  bilateral, el cual contempla tanto el incremento como la disminución de las calificaciones tras el uso del sistema interactivo. No obstante, como la hipótesis alternativa se enfoca exclusivamente en la mejora de las calificaciones (es decir, en que estas aumenten), es preciso ajustar el valor de  $p$  para reflejar esta dirección específica. Esto significa emplear un valor de  $p$  unilateral que se concentre únicamente en la posibilidad de que las calificaciones sean más altas después de utilizar el sistema interactivo.

Por lo tanto, se convierte el valor de  $p$  bilateral a unilateral dividiéndolo entre dos. De esta manera, se obtiene un valor de  $p$  unilateral que se centra únicamente en la dirección de interés: si las calificaciones son mayores después de utilizar el sistema interactivo. Esto ayuda a interpretar de manera más precisa si hay evidencia estadística de mejora en las calificaciones. En la Tabla 2, se observa que los valores de  $p$  unilateral para todos los grupos estudiados son menores que 0.05. Esto permite rechazar la hipótesis de que el curso interactivo no mejora el desempeño académico en matemáticas, indicando así que el curso interactivo tuvo un efecto positivo significativo. Dado que, en el grupo de ingeniería Electrónica, los dos grupos de ingeniería Civil y el grupo de ingeniería Mecatrónica, presentan un valor de  $p$  menor que 0.05, se demuestra estadísticamente que se rechaza la hipótesis nula en cada uno de los grupos.

Es importante hacer notar que las diferencias entre las calificaciones antes y después del curso interactivo son estadísticamente significativas, y las calificaciones después del curso tienden a ser mayores en todos los grupos. Además, el grupo de Mecatrónica que no utilizó la modalidad interactiva también mejora sus calificaciones, en menor medida, pero su incremento también es significativo. Sumado a lo anterior, este estudio estadístico, llevó a cabo una entrevista con los estudiantes que utilizaron el método MyOpenMath para

analizar el impacto de esta herramienta en su experiencia de aprendizaje en matemáticas.

Los resultados revelaron una disminución significativa en los niveles de ansiedad asociados con la materia, así como un aumento en la motivación y el compromiso académico. Los estudiantes señalaron que la posibilidad de recibir retroalimentación inmediata, practicar a su propio ritmo y acceder a recursos interactivos hizo que la asignatura fuera más accesible y comprensible.

Además, destacaron que el uso de la plataforma transformó su percepción de las matemáticas, reduciendo la sensación de frustración, haciéndolas más dinámicas y atractivas, en contraste con los métodos tradicionales que suelen percibirse como monótonos o desalentadores. Estos hallazgos sugieren que el uso de MyOpenMath no solo facilita la adquisición de conocimientos, sino que también promueve una actitud más positiva hacia el aprendizaje de las matemáticas.

**Tabla 1.** Prueba de rangos realizada en SPSS.

<b>RANGOS</b>					
<b>CARRERA</b>			<b>N</b>	<b>Rango promedio</b>	<b>Suma de rangos</b>
Ing. Electrónica	Prueba posterior-Prueba previa	Rangos negativos	0 <sup>a</sup>	.00	.00
		Rangos positivos	11 <sup>b</sup>	6.00	66
		Empates	0 <sup>c</sup>		
		Total	11		
Ing. Civil Grupo 1	Prueba posterior-Prueba previa	Rangos negativos	1 <sup>a</sup>	1.00	1
		Rangos positivos	13 <sup>b</sup>	8.00	104
		Empates	1 <sup>c</sup>		
		Total	15		
Ing. Civil Grupo 2	Prueba posterior-Prueba previa	Rangos negativos	3 <sup>a</sup>	2.67	8
		Rangos positivos	14 <sup>b</sup>	10.36	145
		Empates	1 <sup>c</sup>		
		Total	18		
Ing. Mecatrónica	Prueba posterior-Prueba previa	Rangos negativos	1 <sup>a</sup>	1.00	1
		Rangos positivos	15 <sup>b</sup>	9.00	135
		Empates	0 <sup>c</sup>		
		Total	16		

a. Prueba posterior < Prueba previa, b. Prueba posterior > Prueba previa, c. Prueba posterior = Prueba previa.

**Tabla 2.** Estadísticos de prueba de rangos con signo de Wilcoxon obtenidos con SPSS.

<b>Estadísticos de Prueba<sup>a</sup></b>		
	<b>Carrera</b>	<b>Prueba posterior-Prueba previa</b>
<b>Ing. Electrónica</b>	Sig. asintótica (bilateral)	<i>p</i> =.003
	Sig. asintótica (unilateral)	<i>p</i> =0.0015
<b>Ing. Civil Grupo 1</b>	Sig. asintótica (bilateral)	<i>p</i> =0.001
	Sig. asintótica (unilateral)	<i>p</i> =0.0005
<b>Ing. Civil Grupo 2</b>	Sig. asintótica (bilateral)	<i>p</i> =0.001
	Sig. asintótica (unilateral)	<i>p</i> =0.0005
<b>Ing. Mecatrónica</b>	Sig. asintótica (bilateral)	<i>p</i> =0.001
	Sig. asintótica (unilateral)	<i>p</i> =0.0005

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que la implementación de MyOpenMath en la enseñanza de matemáticas para estudiantes de ingeniería tiene un impacto positivo en el rendimiento académico y en la percepción de la asignatura. A través de un análisis cuantitativo basado en la prueba de Wilcoxon, se constató que los estudiantes que utilizaron el sistema interactivo mostraron una mejora significativa en sus calificaciones en comparación con sus resultados previos.

Sin embargo, al comparar estos avances con los obtenidos en el grupo de control que recibió instrucción con métodos tradicionales se identificó que, aunque ambos grupos mejoraron, los estudiantes que emplearon MyOpenMath lograron un progreso más significativo. Esto sugiere que el aprendizaje interactivo potencia la comprensión matemática de manera más eficiente que la enseñanza tradicional. A pesar de esta ventaja, la diferencia con el grupo de control, aunque relevante, no fue abismal, lo que indica que factores adicionales, como la motivación y la autonomía del estudiante, también juegan un papel clave en el éxito académico. Adicionalmente, los estudiantes que usaron MyOpenMath reportaron una reducción en la ansiedad matemática y un mayor interés por la asignatura. La posibilidad de recibir retroalimentación inmediata, practicar con ejercicios personalizados y acceder a recursos didácticos interactivos hizo que el aprendizaje fuera más dinámico y menos intimidante en comparación con los métodos tradicionales.

En contraste, el grupo de control no manifestó mejoras significativas en estos aspectos emocionales y motivacionales, lo que refuerza la importancia de utilizar herramientas interactivas para cambiar la percepción negativa hacia las matemáticas. Los hallazgos de este estudio sugieren que la incorporación de sistemas interactivos como MyOpenMath no solo facilita el aprendizaje de las matemáticas, sino que también contribuye a la formación de estudiantes más autónomos y motivados. Sin embargo, la diferencia observada con el grupo de control abre la posibilidad de explorar estrategias mixtas que combinen elementos de la enseñanza tradicional con el uso de plataformas digitales para maximizar el impacto en el aprendizaje.

#### 5. TRABAJOS FUTUROS

A partir de estos hallazgos, se plantean diversas líneas de investigación y aplicación:

1. Evaluación en diferentes niveles educativos y asignaturas: explorar el impacto de MyOpenMath en otras materias dentro de las ciencias exactas y en distintos niveles académicos.
2. Optimización de estrategias pedagógicas híbridas: analizar cómo la combinación de MyOpenMath con metodologías tradicionales puede mejorar aún más el aprendizaje y la retención de conocimientos.
3. Estudio longitudinal del impacto: realizar un seguimiento a estudiantes que utilizaron MyOpenMath para evaluar si los beneficios observados se mantienen en cursos avanzados de matemáticas.
4. Desarrollo de un sistema de aprendizaje adaptativo: investigar la integración de inteligencia artificial en MyOpenMath para personalizar aún más la experiencia de aprendizaje según el progreso de cada estudiante.
5. Comparación con otras plataformas interactivas: realizar estudios comparativos con herramientas como GeoGebra, Desmos y Khan Academy para identificar las ventajas específicas de cada sistema y posibles mejoras en MyOpenMath.
6. Impacto en la enseñanza docente: examinar cómo el uso de herramientas digitales influye en las estrategias pedagógicas de los profesores y su percepción sobre la enseñanza de las matemáticas.

#### 6. LITERATURA CITADA

- Abriocot, N. (2014). *¿Qué pasó después del propedéutico? La inserción a la vida universitaria de los estudiantes que ingresaron a la USACH vía propedéutico*. CLABES IV. Congresos Latinoamericano sobre abandono en Educación Superior. Medellín, Colombia. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/download/1030/1055>
- Barcos, M. (2003). Las estrategias creativas como factor de cambio en la actitud del docente para la enseñanza de la

- matemática. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 4(2), 0. <https://www.redalyc.org/pdf/410/41040204.pdf>
- Bardelle, C., y Di Martino, P. (2012). E-learning in secondary-tertiary transition in mathematics: for what purpose? In Roesken B. y Hoyles *ZDM Mathematics education*, 44, 787-800. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11858-012-0417-y>
- Barrios, E., Nahón, A., & López, P. (2022). Evaluación del aprendizaje autónomo dentro del aula invertida: revisión sistemática. *Voces de la Educación*, 7(14), 143\_168. <https://revista.vocesdelaeducacion.com.mx/index.php/voces/article/view/524>
- Ben-Jacob, M. (2016). Technology: The key to the reformation of developmental mathematics pedagogy. *Journal of Educational Technology Systems*, 44(3), 362-369. <https://doi.org/10.1177/0047239515615852>
- Buitrago, J. M. (2023). *Enseñanza de la matemática y procesos cognitivos: realidades significados y experiencias, con impacto en el aprendizaje. Tesis Doctoral.* <https://www.espacio.digital.upel.edu.ve/index.php/TD/article/download/624/564>
- Cabanzo, E. (2017). *Las matemáticas y su influencia en la deserción universitaria. paradigmas.* VII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/b8a66c81-63e7-47ac-813b-94d6a67cf492/content>
- Castillo-Sánchez, M., Gamboa-Araya, R., & Hidalgo-Mora, R. (2020). Factores que influyen en la deserción y reprobación de estudiantes de un curso universitario de matemáticas. *Uniciencia*, 34(1), 219-245. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.34-1.13>
- Cataldi, Z., y Lage, F. (2012). TICs en Educación: Nuevas herramientas y nuevos paradigmas. VII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18457>
- Cosgaya, B., Castro, A., & Sosa, W. (2016). Creencias que Inciden en el Aprendizaje de las Matemáticas en una Institución de Educación Superior. *Revista deficiencia e ingeniería del instituto tecnológico superior de Coatzacoalcos*, Año 3, No. 3, pp. 22-27. [https://www.researchgate.net/profile/Andres-Castro-Villagran/publication/312489963\\_Creencias\\_que\\_Inciden\\_en\\_el\\_Aprendizaje\\_de\\_las\\_Matemáticas\\_en\\_una\\_Institucion\\_de\\_Educacion\\_Superior/links/587e55d808ae4445c06fb103/Creencias-que-Inciden-en-el-Aprendizaje-de-las-Matemáticas-en-una-Institucion-de-Educacion-Superior.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andres-Castro-Villagran/publication/312489963_Creencias_que_Inciden_en_el_Aprendizaje_de_las_Matemáticas_en_una_Institucion_de_Educacion_Superior/links/587e55d808ae4445c06fb103/Creencias-que-Inciden-en-el-Aprendizaje-de-las-Matemáticas-en-una-Institucion-de-Educacion-Superior.pdf)
- Di Martino, P., & Gregorio, F. (2018). The first-time phenomenon: successful students' mathematical crisis in secondary-tertiary transition. In E. Bergqvist, M. Österholm, C. Granberg & L. Sumpter (Eds.), *Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 2, pp. 339-346). Umeå, Sweden: PME. Retrieved from. <http://hdl.handle.net/20.500.12162/1494>
- Díaz, J., Luna Flores, M. d., & Salinas, H. (2019). Curso de nivelación algebraica para incrementar el rendimiento académico en estudiantes de ingeniería en un ambiente virtual de aprendizaje. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(18), 456-489. <https://doi.org/10.23913/ride.v9i18.432>
- Ferrer, D.(2007). Las nuevas tecnologías y el aprendizaje de las matemáticas. *Revista iberoamericana de educación*, 42(4), 1-17. <https://doi.org/10.35362/rie4242406>
- Flores, A., Cappiello, L., & Quintanilla, I. (2024). Challenges and successes of emergency online teaching in statistics courses. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 32(2), 122-128. <https://doi.org/10.1080/26939169.2023.2231036>
- Gamboa, R., y Moreira, T. (2017). Beliefs and attitudes toward mathematics: a comparative study between students and teachers. *Actualidades Investigativas en Educación*, 17(1), 514-559. <http://dx.doi.org/10.15517/aie.v17i1.27473>
- García, J., y Izquierdo, S. (2017). GeoGebra, una propuesta para innovar el proceso enseñanza-aprendizaje en matemáticas. *Revista electrónica sobre tecnología, educación y sociedad*, 4(7). <https://mail.ctes.org.mx/index.php/ctes/articulo/download/654/736>

- Godino, J., Batanero, C., & Vicenç, F. (2003). *Fundamentos de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas para maestros*. Universidad de Granada
- Gonzalez, J. (2010). High-school dropout rate is cited as a key barrier to Obama's collegecompletion goal. *The Chronicle*.
- Gueudet, G. (2008). Investigating the secondary–tertiary transition. *Educational studies in mathematics*, 67(3), 237-254. <https://doi.org/10.1007/s10649-007-9100-6>
- Hashemi, M., Azizinezhad, M., Najafi, V., & Nesari, A. (2011). Retracted: What is mobile learning? Challenges and capabilities. In: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.10.483>
- Juliet, E., y Francesco, A. (2014). Programa para la evaluación internacional de alumnos (pisa) resultados pisa 2012. <https://coilink.org/20.500.12592/n7b2q2>
- Kelly, D., y Rutherford, T. (2017). Khan Academy as supplemental instruction: A controlled study of a computer-based mathematics intervention. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 18(4). <https://doi.org/10.19173/irrodl.v18i4.2984>
- Koehler, M., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T., Graham, C. (2014). The Technological Pedagogical Content Knowledge Framework. In: Spector, J., Merrill, M., Elen, J., Bishop, M. (eds) *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_9)
- Laitón E., Gómez, S., Sarmiento, R., & Mejía, C. (2017). Competencia de prácticas inclusivas: las TIC y la educación inclusiva en el desarrollo profesional docente. *Sophia*, 13(2), 82-95. <https://doi.org/10.18634/sophiaj.13v.2i.502>
- Marqués, P. (2000). Impacto de las TIC en educación: funciones y limitaciones. *Barcelona: UAB. Retrieved March, 16, 2006*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4817326.pdf>
- Márquez-Hermosillo, M. (2015). La lectura por placer en dispositivos electrónicos móviles desde la perspectiva de la literacidad: usos, prácticas, procesos y representaciones de adultos lectores. <http://hdl.handle.net/11117/6033>
- Moreno, M., Velázquez, Á., Páez, R., Sánchez, B., & Bernal, C. (2014). Causa de reprobación en ingeniería desde la perspectiva del académico y administradores. *Ciencia y Tecnología*, (14), 233-250. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5762666.pdf>
- Ogando, P. (2020). Desmos: una herramienta didáctica para trabajar con funciones y gráficas. *Números*, 104. <http://www.sinewton.org/numeros>
- Presmeg, N. (2006). Research on visualization in learning and teaching mathematics: Emergence from psychology. In *Handbook of research on the psychology of mathematics education* (pp. 205-235). Brill. [https://doi.org/10.1163/9789087901127\\_009](https://doi.org/10.1163/9789087901127_009)
- Quispe, J. (2010). Factores que influyen en el rendimiento académico y la deserción de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Económica de la UNA-PUNO, período 2009. *Cuadernos de educación y desarrollo* (11). <http://www.eumed.net/rev/ced/11/jtq.htm>
- Sari, C., Rejeki, S., Toyib, M., Ningtyas, Y., & Aimin, F. (2024). *Supporting students' mathematical literacy: A description of the pretest-posttest results from the development of the numeracy module*. The 7th progressive and fun education international conference. AIP Conf. Proc. 2926, 020005 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0183076>
- Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *Rev. U. Soc. Conocimiento*, 1, 1. <https://www.raco.cat/index.php/RUSC/article/download/28810/28644/>
- Valero, C., Redondo, M., & Palacín, A. (2012). Tendencias actuales en el uso de dispositivos móviles en educación. *La educación digital magazine*, 147, 1-21. [https://educoas.org/portal/la\\_educacion\\_digital/147/pdf/ART\\_UNNED\\_EN.pdf](https://educoas.org/portal/la_educacion_digital/147/pdf/ART_UNNED_EN.pdf)

## ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN DE LOS TUTORES SOBRE EL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE TUTORÍAS

José F. Coronado-Vázquez & Martha A. Avalos-Puga

Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Blvd. Emilio Portes Gil, No 1301, C.P. 87010. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

[paco0108@yahoo.com.mx](mailto:paco0108@yahoo.com.mx), [martha.ap@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:martha.ap@cdvictoria.tecnm.mx)

**RESUMEN.** El presente artículo muestra los resultados obtenidos del análisis de la percepción de los Tutores sobre el Programa Institucional de Tutorías en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Cuyo propósito es tener el conocimiento de la situación actual del programa, para encontrar puntos de mejora en el mismo. Para realizarlo, se aplicó una encuesta a 43 tutores pertenecientes a las carreras de: Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, Ingeniería en Gestión Empresarial, Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Informática y Licenciatura en Biología. Los reactivos comprendidos en la encuesta van encaminados a conocer la eficiencia del Programa, la disponibilidad y compromiso del docente con el mismo, las herramientas con que cuenta y sugerencias para el mejor desempeño de su función. Los resultados mostraron que, en general los tutores manifiestan su apoyo e interés ya que lo consideran necesario para el rendimiento académico del estudiante. Por lo anterior, se requiere de mayor apoyo para los académicos en cuanto al conocimiento de nuevas herramientas en lo referente al programa de tutorías, así como institucionalizarlo mediante horarios establecidos para que el estudiante tome este apoyo en los tres primeros semestres de la carrera.

**PALABRAS CLAVE:** Estudiantes, Tutoría, Tutor, Programa Institucional de tutorías, académicos.

**ABSTRACT.** This article shows the analysis results of the Tutor's perception about the Institutional Tutoring Program at the Ciudad Victoria Technological Institute. Whose purpose is to have knowledge of the current situation of the program, to find points of improvement in it. To perform this, a survey was applied to 43 tutors belonging to engineering careers such as: Industrial Engineering, Civil Engineering, Business Management Engineering, Renewable Energy Engineering, Computer Systems Engineering, Mechanical Engineering, Electronic Engineering, Computer Engineering and Degree in Biology. It was observed that the support they receive is not enough to adequately carry out their function. The results showed that tutors are interested in it, since they consider it necessary for the student's academic performance. Due to the above, greater support is required for academics in terms of knowledge of new tools in relation to the provision of tutorials, as well as institutionalizing through established schedules so that the student can take this support in the first three semesters of the career.

**KEY WORDS:** Students, Tutoring, Tutor, Institutional Tutoring Program, academics.

### 1. INTRODUCCION

La tutoría, como acompañamiento de los estudiantes, tiene sus inicios formalmente en las universidades anglosajonas (en Inglaterra, se denomina *tutoring* o *supervising*; en Estados Unidos, fue llamada *mentoring*, *advising*), donde se buscaba una educación individualizada que redujera las horas de labor del docente frente a grupo. En Canadá, Estados Unidos y algunos países de Europa, desde los años treinta, los centros de orientación son los encargados de tener una relación con el docente para apoyarlo en las actividades de asesoramiento, poniendo

especial atención en las necesidades académicas, sociales y personales del estudiante. En México, alrededor de los años cuarenta, ya se experimentaban los primeros contactos con un sistema de tutorías y con la imagen de un tutor. En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en las Facultades de Química y Ciencias Políticas y Sociales, en 1970, se definió al tutor como guía del estudiante y se formalizó en los planes de estudio, lo que se convirtió en los primeros indicios de la acción tutorial (Fresán y Romo, 2011).

A partir del siglo XXI, en México se ha percibido la manifestación de las tutorías académicas dentro de las Instituciones de Educación Superior (IES). Todo esto derivado de la propuesta de los Programas Institucionales de Tutorías (PIT), planteada por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). En el 2008 el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria adoptó, al igual que otros Institutos Tecnológicos en México, el Programa Institucional de Tutorías a fin dar un acompañamiento a los estudiantes durante su trayectoria escolar (García y René, 2001, ANUIES, 2002, Fresan y Romo, 2011).

El Tecnológico de Ciudad Victoria, como institución educativa comprometida con la formación de profesionales altamente capacitados, reconoce la importancia del programa de tutorías en el proceso educativo de sus estudiantes. Los tutores juegan un papel clave en el éxito académico y personal de los mismos, no sólo en términos de apoyo académico, sino también en su desarrollo emocional y profesional. Sin embargo, existen diversos desafíos relacionados con el rol de los tutores que afectan la eficacia de las tutorías. Este trabajo se enfoca en analizar los principales desafíos que enfrentan los tutores, su impacto en los estudiantes y las posibles estrategias de mejora para optimizar el programa de tutorías y su impacto en la comunidad educativa.

El resto de la investigación está organizado de la siguiente manera: La sección 2 describe el objetivo general y los objetivos específicos, la sección 3 presenta la metodología, en la sección 3.1 incluye el diseño de la investigación, la sección 3.2 presenta el desarrollo, la sección 4 presenta trabajo relacionado, en la sección 5 los resultados obtenidos, en la sección 6 se presenta la discusión, en la sección 7 se incluyen las conclusiones y finalmente en la sección 8 se agrega la literatura citada.

## 2. TRABAJO RELACIONADO

Se puede citar como trabajo relacionado la investigación realizada en el mismo tecnológico de Ciudad Victoria, que lleva como título "Análisis de la percepción de los estudiantes sobre el Programa Institucional de Tutorías, *TecnoINTELECTO* 2023, 20(2):31-34, en el

cual se obtuvieron resultados muy similares a la presente investigación.

## 3. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es tener conocimiento de la situación actual del programa de tutorías, para encontrar puntos de mejora en el Plan Institucional de Tutorías implementado en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria-

### 3.1. Objetivos específicos

- Aplicar encuestas a tutores que actualmente estén participando en el Programa Institucional de Tutorías en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.
- Conocer la percepción del tutor del Programa Institucional de Tutorías impartido en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Diseño de la investigación

La presente investigación es del tipo cualitativo-descriptivo. La característica cualitativa se refiere, para este caso, por considerar que, dentro de las opciones de entender un fenómeno, la mejor manera es hacerlo directamente en su contexto (Aranda y Grajales, 2001; Hernández-Sampieri y Mendoza Torres, 2018); además, se distingue porque tiene como objetivo describir la realidad y lo hace mediante tres componentes: los datos, el análisis de datos y el informe (Pavón, 2013). Para lograr lo anterior, el estudio debe basarse en características observables y verificables, para lo cual, se cuenta con diversos métodos de recolección de datos como son la observación, la encuesta y el estudio de casos (Guevara Alban *et al.*, 2020). La encuesta aplicada consiste en diez preguntas aplicadas a un total de 43 tutores de las diferentes carreras, que contestaron de manera individual, las cuales posteriormente se analizaron en función de su frecuencia.

Las preguntas de la encuesta son:

1. ¿Conoce cuál es la función del tutor en el Programa Institucional de Tutorías?
2. ¿Como tutor mantiene informados a los estudiantes sobre el programa?

3. Con base en su experiencia, ¿Como califica el programa de tutorías?
4. ¿Mantiene informado al estudiante de quien es el responsable de llevar a cabo dicho programa?
5. Como tutor de un grupo, ¿le da la importancia requerida al seguimiento de este programa?
6. ¿Considera necesario actualizar el Programa Institucional de Tutorías?
7. ¿Considera que el acompañamiento por medio del programa de tutorías mejora el aprendizaje y el desarrollo académico y profesional del estudiante?
8. ¿Considera que hay poco interés de parte de los estudiantes a dicho programa?
9. Como tutor ¿le han presentado quejas sobre otros tutores por parte de los estudiantes, por no mostrar interés a dicho programa?
10. ¿Cuáles considera que son los factores que influyen en el poco interés por parte del tutorado a dicho programa?
  - a) Implica mayor trabajo en atención a estudiantes.
  - b) No cuento con las herramientas necesarias.
  - c) No tiene valor curricular

#### 4.2. Desarrollo

Esta investigación fue realizada y analizada mediante análisis de frecuencia, del 4 al 15 de noviembre de 2024, en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Para ello, se aplicó una encuesta (García *et al.*, 2010) a 43 tutores, seleccionados al azar (que representan el 70 %) de una población de 62 tutores incorporados al Programa Institucional de Tutorías, pertenecientes a las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, Ingeniería en Gestión Empresarial, Ingeniería en Energías Renovables, Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Informática y Licenciatura en Biología.

El número de encuestas aplicadas por programa académico está en función de la matrícula de cada carrera. Los resultados de la

encuesta se obtuvieron mediante análisis y porcentaje de la frecuencia de estas.

### 5. RESULTADOS

El análisis obtenido de las respuestas de las encuestas aplicadas se presenta en seguida:

#### 1). Conocimiento general del Programa Institucional de Tutorías.

**Cuestionamiento:** ¿Conoce cuál es la función del tutor en el Programa Institucional de Tutorías?

**Resultado:** El 97.5 % respondió que sí, mientras que 2.5 % lo desconoce.

#### 2). En cuanto a la información que el tutor transmite a sus tutorados

**Cuestionamiento:** ¿Como tutor mantiene informados a los estudiantes sobre el programa de Tutorías?

**Resultado:** El 88.9 % de los tutores informa a los estudiantes sobre el Programa Institucional de tutorías, contrario al 11.1 % que no lo hace.

#### 3). Percepción del tutor sobre el Programa Institucional de Tutorías del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria

**Cuestionamiento:** En base a su experiencia, ¿Cómo califica el programa de tutorías?

**Resultado:** El 42.5 % como bueno, el 47.5 % regular y el 10.0 % como malo. Por lo tanto, podríamos decir que el 90 % lo considera de regular a bueno, lo que nos ofrece una muy buena área de oportunidad.

#### 4). El tutor mantiene informado al estudiante sobre las autoridades competentes en el Programa Institucional de Tutorías.

**Cuestionamiento:** ¿Mantiene informado al estudiante de quién es el responsable de llevar a cabo dicho programa?

**Resultado:** El 88.9 % confirma que sí mantiene informado al estudiante en cuanto al responsable del programa y el 11.1 % no lo hace. Aquí nos confirma la respuesta al segundo cuestionamiento de la encuesta ya que manejan los mismos porcentajes.

#### 5). En cuanto a la importancia que el mismo tutor le da al seguimiento del Programa

**Cuestionamiento:** ¿Como tutor de un grupo le da la importancia requerida al seguimiento de este programa?

**Resultado:** El 77.5 % dice que, si le da la importancia requerida, el 20.0 % le da una regular importancia y solamente el 2.5 % no le da la seriedad e importancia necesaria. Probablemente se deba a las diferentes cargas de trabajo de los docentes tutores.

#### 6). Perspectiva sobre la actualización del Programa Institucional de Tutorías

**Cuestionamiento:** ¿Considera necesario actualizar el Programa Institucional de Tutorías?

**Resultado:** EL 88.9 % cree que es necesaria una actualización en cuanto al uso de nuevas herramientas y cursos de actualización y solamente el 11.1 % no lo cree necesario. Las preguntas 2, 4 y 6 nos dan resultados iguales por la correlación que existe en cuanto a la percepción que tienen del funcionamiento del Programa de Tutoría actualmente llevado en el Instituto.

#### 7). Sobre los beneficios en el aprendizaje y desarrollo académico y profesional con la implementación del Programa de Tutorías

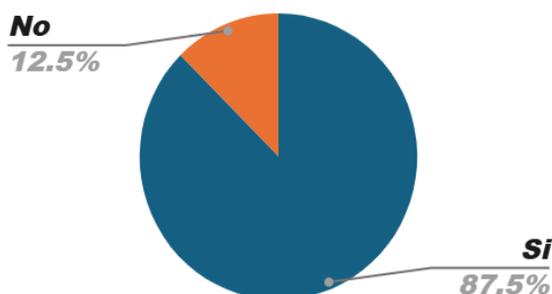
**Cuestionamiento:** ¿Considera que el acompañamiento por medio del programa de tutorías mejora el aprendizaje y el desarrollo de manera académica y profesional del estudiante?

**Resultado:** El 88.9 % expresas que sí existe una mejora con el acompañamiento y el 11.1 % dice que no lo aprecia de la misma manera.

#### 8). Sobre el interés del estudiante en el Programa de tutorías

**Cuestionamiento:** ¿Considera que hay poco interés de parte de los estudiantes a dicho programa?

**Resultado:** El 87.5 % de los profesores consideran que sí tienen mucho interés en este apoyo y el 12.5 % no muestra algún interés por dicho programa. En el resultado a esta pregunta concluimos que el interés del estudiante a recibir este apoyo de acompañamiento durante parte de su trayectoria académica es bien aceptado. (Figura 1).



**Figura 1.** Resultados de la encuesta sobre interés en el programa.

#### 9). Sobre el desempeño de la función tutorial del docente

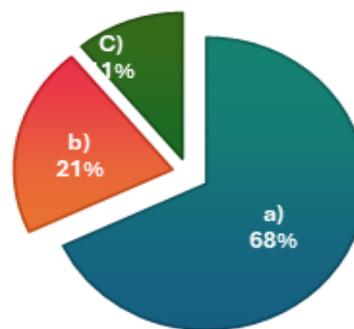
**Cuestionamiento:** ¿Como tutor, le han presentado quejas sobre otros tutores por parte de los estudiantes por no mostrar interés a dicho programa?

**Resultado:** El 88.9 % manifiesta que no existe este tipo de problemas, lo que nos dice que el trabajo realizado por los tutores es ético.

#### 10). Sobre los factores que influyen en el desinterés en el Programa Institucional de Tutorías

**Cuestionamiento: Pregunta abierta,** ¿Cuáles considera que son los factores que influyen en el poco interés por parte del tutorado en dicho programa?

**Resultado:** Se puede resumir en tres factores  
 a) Implica mayor trabajo en atención a estudiantes.  
 b) No cuento con las herramientas necesarias.  
 c) No tiene valor curricular.



**Figura 2.** Resultados de la encuesta sobre factores de interés.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la eficiencia del programa puede ser mejorada

con la disponibilidad y compromiso del docente para con el programa, siempre y cuando tengan las herramientas y la capacitación actualizada.

## 6. DISCUSIÓN

Observamos en los resultados obtenidos, que la percepción de los tutores en cuanto al Programa Institucional de Tutorías desarrollado en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria es necesario para mejorar el desempeño académico de los estudiantes, que en ocasiones se ven afectados por factores no solo académicos y que sus docentes pueden ser un orientador siempre y cuando cuenten con las herramientas y las condiciones adecuadas para tal fin. La encuesta aplicada comprende el 70 % del total de tutores inscritos en el programa, sería más representativa si participara el 100% de tutores, los cuales por diversas causas no pudieron contestar la encuesta. El comportamiento del funcionamiento del Programa Institucional de Tutorías comparado con otros Tecnológicos pertenecientes al sistema es muy similar, las problemáticas a que se enfrentan son muy parecidas a las de nuestra Institución, lo anterior es expuesto en reuniones regionales y nacionales de Tutorías.

## 7. CONCLUSIONES

Podemos concluir que se logró conocer el propósito de la presente investigación, obteniendo lo esperado de la misma. El rol de los tutores del Tecnológico de Ciudad Victoria es fundamental para el éxito académico y el bienestar integral de los estudiantes. Sin embargo, los desafíos relacionados con la sobrecarga de trabajo, la falta de formación específica y el no ser una actividad escolarizada afectan tanto el desempeño de los tutores como el desarrollo de los estudiantes. Implementando estrategias como la capacitación continua, la reducción en los horarios como una actividad formativa, aportarían en el fortalecimiento de la relación tutor-estudiante, mejorando la calidad del Programa Institucional de Tutorías y su impacto positivo en la comunidad educativa. El compromiso de la Institución con la tutoría es clave para garantizar una formación integral y exitosa de los estudiantes.

## 8. LITERATURA CITADA

- ANUIES. (2002). Programas Institucionales de Tutoría. Una propuesta de la ANUIES para su organización y funcionamiento en las instituciones de educación superior. México. D.F: ANUIES.
- E.A García, A. C. (2010). La asesoría tutorial de la facultad de Ingeniería civil de la Universidad Veracruzana, una encuesta de opinión. Poza Rica, Veracruz: Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Fernando Aranda Fraga, T. G. (2001). El debate epistemológico entre investigación cuantitativa y cualitativa a partir de la oposición paradigmática entre modernidad y postmodernidad. *Revista Internacional de Estudios de Educación*.
- Fresan, O. R. (2011). Programas Institucionales de tutoría: Una propuesta de la ANUIES para su organización y funcionamiento en las instituciones de Educación Superior. ANUIES.
- Gladys Patricia Guevara Alban, A. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Saberes del Conocimiento*.
- Roberto Hernández-Sampieri, C. P. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education.



**Tecnológico Nacional de México**

**Instituto Tecnológico de Cd. Victoria**

**División de Estudios de Posgrado e Investigación**

**MAESTRÍA EN**

**CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

**SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SEP-CONAHCYT-002408)**

**Becas disponibles**

**Especialidad:**  
**Manejo y Conservación de Recursos Naturales**  
**(Terrestres o Acuáticos)**



# Maestría en Ciencias en Biología

## Recepción de solicitudes: febrero-mayo de 2025

### PERFIL

El programa está diseñado para egresados de la carrera de biología o afines como médicos veterinarios, ingenieros agrónomos, ingenieros ambientales e ingenieros forestales. Podrán participar egresados de otras carreras con la aprobación del consejo de posgrado.

### REQUISITOS DE INGRESO Y DOCUMENTACIÓN

- Carta de exposición de motivos indicando porque desea cursar una maestría y porque desea ingresar a este programa, Maestría en Ciencias en Biología-ITCV.
- Copia (s) de título profesional, certificado de calificaciones, diploma (s) y constancias de otros estudios.
- Constancia de promedio mínimo de 8 (ocho) en estudios de licenciatura.
- Currículum vitae con documentos probatorios adjuntos.
- Comprender el idioma inglés y aprobar examen de inglés del programa de MCB-ITCV.
- Dos fotografías tamaño credencial.
- Aprobar examen de admisión.
- Carta compromiso indicando que terminará su programa de maestría en dos años.
- Disposición para desarrollar e integrarse en proyectos de investigación.
- Entrevista con el comité de posgrado.
- Ser estudiante de tiempo completo.

### PLAN DE ESTUDIOS

El programa está diseñado para concluirse en dos años y consta de cinco materias básicas, seis optativas y presentación de tesis de grado.

Áreas disponibles actualmente para investigación y desarrollo de tesis:

Malacología, Entomología, Micología, Mastozoología, Ciencias Forestales (Biodiversidad, Sistemática, Ecología y Fisiología).

### PLANTA DOCENTE

**Almaguer Sierra Pedro, Dr. UANL.** Agua-Suelos, Agrometeorología e Hidroponía.

**Azuara Domínguez Ausencio, Dr. Colegio de Posgraduados.** Manejo Integrado de Plagas.

**Barrientos Lozano Ludivina, Ph.D. Universidad de Gales.** Entomología Aplicada. Ecología y Sistemática de Orthoptera.

**Flores Gracia Juan, Dr. UANL.** Genética y Biotecnología.

**García Jiménez Jesús, Dr. UANL.** Micología y Parasitología Forestal.

**González Gaona Othón Javier, Dr. ITESM.** Toxicología.

**Guevara Guerrero Gonzalo, Dr. UANL.** Biotecnología y Micología.

**Horta Vega Jorge V., Dr. CINVESTAV-IPN** Neurociencias y Entomología.

**Rangel Lucio José Antonio. Dr. Colegio de Posgraduados.** Edafología.

**Rodríguez-Castro Jorge Homero, Dr. UAT.** Acuicultura y Ecología Marina.

**Venegas Barrera Crystian Sadiel. Dr. CIBNOR.** Manejo y Preservación de Recursos Naturales (Ecología).

#### **INFORMES**

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD.  
VICTORIA  
División de Estudios de Posgrado e  
Investigación**

<https://www.itvictoria.edu.mx/oferta/mbiologia.html>

<http://www.itvictoria.edu.mx>

Mail: [dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)

Bld. Emilio Portes Gil No. 1301 Cd. Victoria,  
Tam. C.P. 87010 Apdo. Postal 175  
Tel. (834) 153 2000 Ext. 325



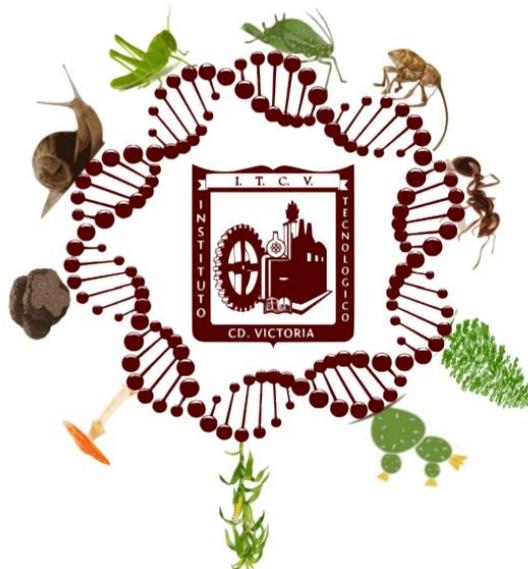
# Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

## División de Estudios de Posgrado e Investigación

# DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA

SISTEMA NACIONAL DE POSGRADOS (SEP-CONAHCYT-003351)

**Becas disponibles**



# Recepción de solicitudes: febrero-mayo de 2025

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Biodiversidad y Ecología
- Manejo y Conservación de Recursos Naturales

## Requisitos y antecedentes académicos de ingreso de los candidatos

- Contar con grado de Maestría (indispensable estar titulado) en un programa experimental o de investigación en el área de las Ciencias Biológicas.
- Promedio igual o superior a 8 (80 de 100) en estudios de maestría.
- Disponer de tiempo completo para cumplir con el programa doctoral.
- Aprobar el examen de conocimientos que aplica el programa o acreditar con al menos un 75% en conocimientos básicos y un 60% en habilidades de investigación en el EXANI-III del CENEVAL.
- Acreditar el examen de Inglés TOEFL, al ingresar al programa, mínimo 450 puntos. O bien acreditarlo este examen antes de egresar del programa, ya que este es un requisito para sustentar examen de grado y poder titularse.
- Presentar dos cartas académicas de recomendación expedidas por profesionistas reconocidos.
- Carta de exposición de motivos para el ingreso al doctorado, no mayor de una cuartilla, con fecha y firma.
- Visto bueno en entrevista con miembros del Claustro Doctoral.
- Presentar por escrito protocolo de investigación (3-5 cuartillas) para evaluar aptitudes y habilidades de experiencia previa, en el área de ciencias naturales.

- Carta de aceptación de uno de los miembros del Claustro Doctoral.

## PLANTA DOCENTE

**Almaguer Sierra Pedro, Dr. UANL.** Agua-Suelos, Agrometeorología e Hidroponía.

**Azuara Domínguez Ausencio. Dr. Colegio de Posgraduados.** Manejo Integrado de Plagas.

**Barrientos Lozano Ludivina, Ph.D. Universidad de Gales.** Entomología Aplicada. Ecología y Sistemática de Orthoptera.

**Flores Gracia Juan, Dr. UANL.** Genética y Biotecnología.

**García Jiménez Jesús. Dr. UANL.** Ciencias Forestales y Micología.

**González Gaona Othón Javier. Dr. ITESM.** Toxicología.

**Guevara Guerrero Gonzalo, Dr. UANL.** Biotecnología y Micología.

**Horta Vega Jorge V., Dr. CINVESTAV-IPN** Neurociencias y Entomología.

**Rangel Lucio José Antonio. Dr. Colegio de Posgraduados.** Edafología.

**Rodríguez-Castro Jorge Homero, Dr. UAT.** Acuacultura y Ecología Marina.

**Venegas Barrera Crystian Sadiel. Dr. CIBNOR.** Manejo y Preservación de Recursos Naturales (Ecología).

## INFORMES

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD.  
VICTORIA**

**División de Estudios de Posgrado e  
Investigación**

Bld. Emilio Portes Gil No. 1301 Cd. Victoria,  
Tam. C.P. 87010 Apdo. Postal 175.  
Tel. (834) 153 2000, Ext. 325

[https://www.itvictoria.edu.mx/oferta/mbiologia.ht  
ml](https://www.itvictoria.edu.mx/oferta/mbiologia.html)

<http://www.itvictoria.edu.mx>

email: [dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx)

## CONVOCATORIA PARA PUBLICAR EN TecnoINTELECTO

### TÍTULO CON MAYÚSCULAS, DEBIDAMENTE ACENTUADAS, EN NEGRITAS, CENTRADO, ARIAL 10, INTERLINEADO SENCILLO

*Autor(es) Arial 10 puntos, itálica, centrado, interlineado sencillo; nombre (s) completo y apellidos completos, separados por un guión, sin grado académico, más de un autor separado por comas e indicador numérico para los datos siguientes: Institución(es) en 10 Arial, en itálica y centrado, interlineado sencillo, correo electrónico de los autores centrado, interlineado sencillo*

**RESUMEN.** Deberá ser lo más general y significativo posible, de manera que en pocas palabras exprese la aportación más relevante del artículo. Letra tipo Arial de 10 puntos, interlineado sencillo y espaciado anterior de 8 puntos y posterior de 6, iniciando con la palabra **RESUMEN** en negritas. Texto con alineación ajustada en todo el artículo. Si el artículo está en español, adjuntar el resumen inglés.

**PALABRAS CLAVE:** Colocar las palabras (tres a cinco) más significativas en el artículo, no repetir palabras del título, fuente de 10 puntos, dejando un espacio entre el párrafo anterior.

**ABSTRACT.** The abstract shall be as general and substantial as possible, in such a way that it provides in a few words a clear idea of the paper's contribution. Please use Arial font 10 points, single space, space above 8 points and below 6 points, begin text with the word **ABSTRACT** in bold face. All text through the paper must be aligned to fit page. If paper is in Spanish abstract shall be in English.

**KEY WORDS:** Please use the most (three to five) significant words, font of 10 points, leaving a space between the preceding paragraphs.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los criterios para la revisión técnica son: importancia de la contribución a la divulgación científica, pertinencia de métodos empleados, correcta presentación de datos, soporte del manuscrito con literatura relevante y actualizada, discusión suficiente o necesaria. Además, figuras y tablas adecuadas. El manuscrito pasará al comité editorial, quien dictaminará si contiene el mínimo indispensable para ser publicado, lo cual se notificará vía electrónica en formato pdf.

### 2. CARACTERÍSTICAS

El cuerpo del artículo en dos columnas con 0.6 cm entre ellas y todos sus márgenes de 3 cm. Cada sección deberá contener un título numerado con formato de párrafo espaciado anterior de 12 y posterior de 6 puntos. La fuente de todo el manuscrito es Arial. En el cuerpo de 10 puntos, interlineado sencillo, con secciones numeradas con números arábigos.

**2.1 Idioma:** español o inglés.

#### 2.2 Subsecciones

Las subsecciones en formato tipo título, negritas, interlineado sencillo y espaciado anterior y posterior de 6 puntos.

#### 2.3. Las gráficas y tablas

Pueden ser **a color** o en **escala de grises** y se ajustarán de acuerdo con las características de ellas y al gusto del investigador. Deberán ser posicionadas de acuerdo con la necesidad del investigador y bajo su responsabilidad.

### 3. LINEAMIENTOS

Los artículos deberán ser inéditos. Cada trabajo deberá presentarse en un mínimo de 6 y un máximo de 12 páginas. De 6 páginas se considerarán artículos cortos y se publicarán a recomendación del comité editorial.

### 4. RESPONSABILIDADES

El investigador es responsable del contenido, la sintaxis y el envío de su artículo en Word a la coordinación editorial actual de TecnoINTELECTO: [ludivinab@yahoo.com](mailto:ludivinab@yahoo.com) [ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx) El Instituto Tecnológico de Cd. Victoria será responsable de la revisión y aceptación o rechazo de los manuscritos, la edición de la revista, el índice,

la impresión y distribución, apoyándose en el Comité Editorial y otras instituciones, si lo considera pertinente.

**Los artículos que no se ajusten a las normas editoriales serán rechazados para su adecuación.**

**El máximo número de autores y/o coautores por artículo es de 5.**

## 5. FECHAS IMPORTANTES

Recepción de artículos todo el año.  
**Publicación julio-agosto y diciembre-enero.**

## 6. LITERATURA CITADA

### 6.1 Referencias en texto

Sin numerar, solo citar apellido(s) según el caso y el año separado por una coma, si son más citas separar por punto y coma; dos autores se separan “y” y si son más de dos autores solo se pondrá el apellido(s) del primer autor seguido de “*et al.*”.

Al final, listar en orden alfabético sin numeración. Autor (es) iniciando con apellido (s) seguido por la inicial del nombre (s), si es el caso puede escribir los dos apellidos separados por un guion. Año. Título del artículo. Nombre de la Revista, Volumen y número de páginas, tipo Arial, 10 puntos, interlineado sencillo.

### Artículo científico

Armenta, C. S., H. Bravo y R. Reyes. 1978. Estudios bioecológicos de *Epilachna varivestis* Mulsant, bajo condiciones de

laboratorio y campo. *Agrociencia*, 34: 133-146.

Ávila-Valdez, J., L. Barrientos-Lozano y P. García-Salazar. 2006. Manejo Integrado de la Langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) (Orthoptera: Acrididae) en el sur de Tamaulipas. *Entomología Mexicana*, 5: 636-641.

### Libro o Tesis

Jaffe, K., J. Lattke y E. Pérez. 1993. *El mundo de las hormigas*. Equinoccio Ediciones. Universidad Simón Bolívar, Venezuela. 196 pp. En el caso de tesis señalar después del título si es profesional o de grado.

### Capítulo de libro:

Navarrete-Heredia, J. L. y A. F. Newton. 1996. Staphylinidae (Coleoptera). Pp. 369-380. *In*: J. E. Llorente-Bousquets, A. N. García-Aldrete y E. González-Soriano (Eds.). Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F.

## Tecnológico Nacional De México

### Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Coordinación Editorial de TecnoINTELECTO

Dra. Ludivina Barrientos Lozano  
[ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:ludivina.bl@cdvictoria.tecnm.mx)  
[ludivinab@yahoo.com](mailto:ludivinab@yahoo.com)